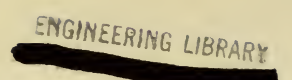
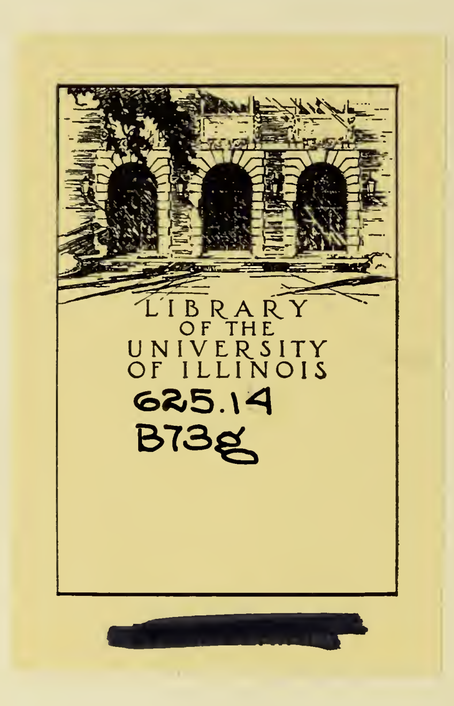
625.14
B73g

BRAUNING

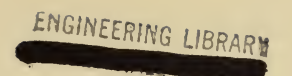
DIE GRUNDLAGEN DES GLEISBAUES



[redacted]



[redacted]


ENGINEERING LIBRARY
[redacted]

Return this book on or before the **Latest Date** stamped below.

Theft, mutilation, and underlining of books are reasons for disciplinary action and may result in dismissal from the University.

University of Illinois Library

ENGINEERING

OCT 14 1975

OCT 6 REC'D

ENGINEERING LIBRARY
[redacted]

L161—O-1096

Digitized by the Internet Archive
in 2016

https://archive.org/details/grundlagendesgle00brau

ENGINEERING LIBRARY

DIE GRUNDLAGEN DES GLEISBAUES

VON

KARL BRÄUNING
GEHEIMER BAURAT



MIT 109 TEXTABBILDUNGEN

BERLIN 1920
VERLAG VON WILHELM ERNST UND SOHN

Alle Rechte vorbehalten.
Copyright 1920 by Wilhelm
Ernst & Sohn, Verlag, Berlin

625.14
B73g
Engin
ENGINEERING LIBRARY
2 F 32 Krogh

DIE GRUNDLAGEN
DES
GLEISBAUES

Engin 22731 Harrass

788355

Inhalt.

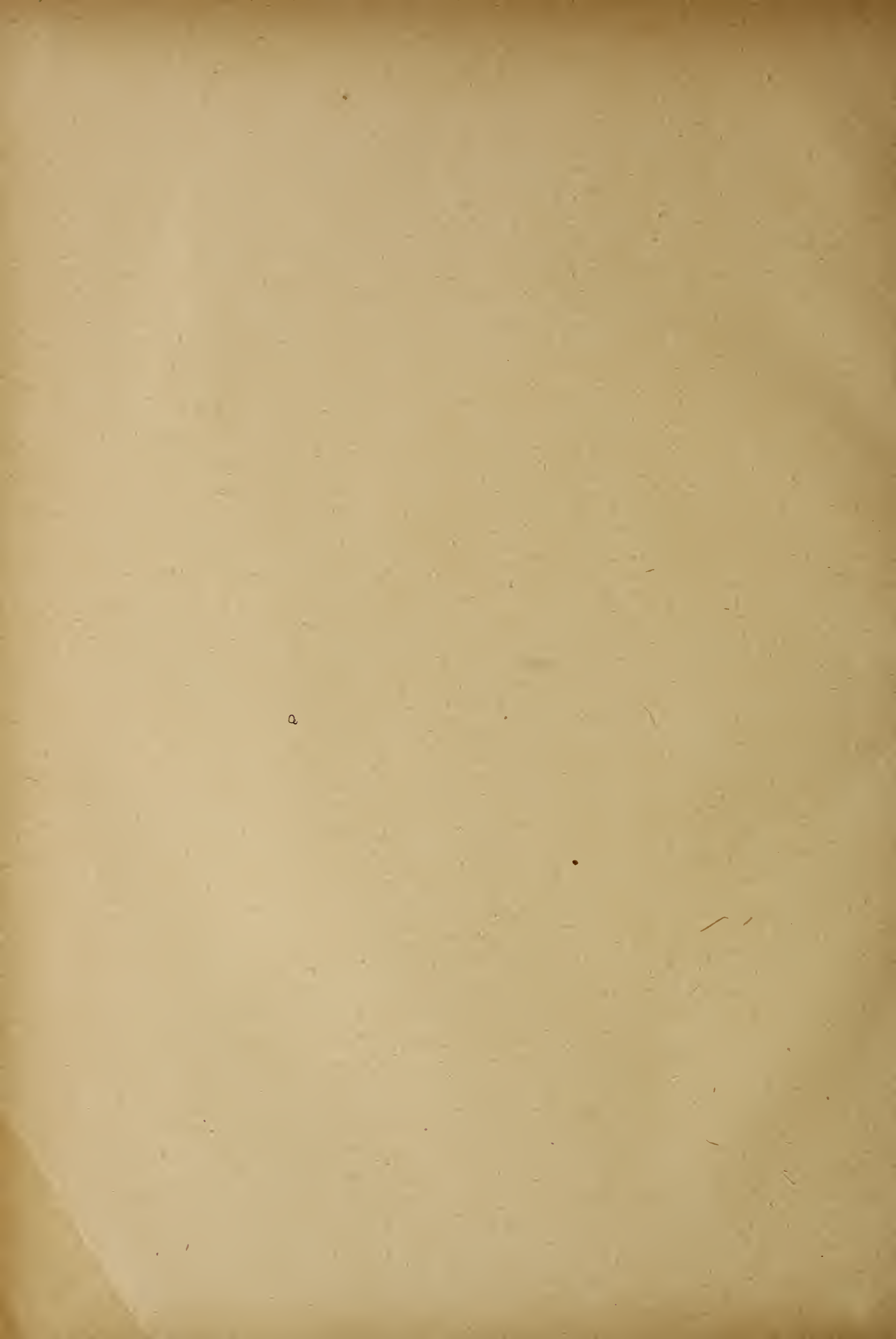
Vorwort.

Den Anlaß zu dem vorliegenden kleinen Werke gaben langjährige, eingehende Beobachtungen und Untersuchungen am Eisenbahn-Oberbau, die in Ergänzung bereits vorhandener, anderweitig gewonnener Ergebnisse den Zweck verfolgten, aus den Bewegungen des belasteten Gleises und aus den dauernden Änderungen des Gleiszustandes gewisse Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, die als Unterlagen sowohl für die rein theoretische Behandlung der Oberbaufrage als auch in praktischer Hinsicht für den Aufbau und für die Unterhaltung des Gleises verwendbar erscheinen. Wenn das auf diesem Gebiete Geleistete auch bei weitem nicht hinreicht, die Gesetzmäßigkeit all der verwickelten Vorgänge im Gleise nur annähernd zu ergründen, so dürfte doch eine systematische Entwicklung der Ansprüche an das Eisenbahngleis schon aus den Ergebnissen der bisherigen Beobachtungen als ein Beitrag zur Klärung schwebender Fragen förderlich sein und zu neuen Forschungen anregen, deren die weitere Vervollkommnung des Gleisbaues dringend bedarf. Das Werk soll sich daher nicht auf Vorführung und Erläuterung der üblichen Oberbauarten beschränken, sondern in erster Linie ausführlich die angreifenden Kräfte und ihre Wirkungen erörtern, soweit es eben nach dem jetzigen Stande der Forschungen möglich ist, und aus diesen Betrachtungen heraus an einzelnen typischen Bauarten untersuchen, wie weit sie diesen Angriffen gewachsen sind.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der für die Auswahl des Stoffes und für die Darstellungsweise in Frage kam, lag in dem Bestreben, das Werk auch geeignet zu gestalten für die Einführung junger Techniker in das Studium des Eisenbahn-Oberbaues und ihnen später einige Stützpunkte zu bieten bei dem praktischen Gleisbau und bei der Gleisunterhaltung. Ausführliche Berechnungen sind vermieden worden, weil sie die Übersichtlichkeit in der Entwicklung stören und weil sie bereits von berufenerer Seite soweit durchgeführt sind, als es der jetzige Stand der Wissenschaft ermöglicht. Die Darstellung begnügt sich daher in der Regel mit den Endergebnissen ausführlicher Rechnungen und mit Hinweis auf einschlägige Literatur, setzt aber zum Verständnis keine höheren theoretischen Vorkenntnisse voraus, als eine technische Mittelschule bietet.

Potsdam, im März 1920.

Bräuning.



Einleitung.

Berechnung, Beobachtung.

Die zuverlässigste Grundlage für den Gleisbau ist die Kenntnis der im Gleise tätigen Kräfte mit ihren Wirkungen auf das Gleisgefüge und auf den Zustand der Baustoffe. Zwei Mittel stehen zu Gebote, diese Kenntnis zu erlangen, einmal die Rechnung, die mit Hilfe einiger bestimmter Werte über Größe der äußeren Kräfte und über Festigkeit und Elastizität der Stoffe allein aus zwingenden mathematischen Gesetzen die Anstrengungen im Gleise ableitet und danach den einzelnen Gliedern ihre Formen und Abmessungen gibt, sodann die Beobachtung, die zunächst bestrebt ist, alle im Gleise erscheinenden Veränderungen festzulegen und nach ihren Ursachen zu forschen, weiterhin aus diesen der Wirklichkeit entnommenen Ergebnissen heraus die Gesetzmäßigkeit der Erscheinungen abzuleiten und ein Gleisgefüge zu bilden, in welchem die erhaltenden Einflüsse zur Geltung gebracht, die schädlichen nach Möglichkeit unterdrückt werden. In der Tat aber gibt weder die Rechnung noch die Beobachtung für sich allein die Möglichkeit, in die außerordentlich vielverzweigten Wechselbeziehungen zwischen Angriffskräften, Stoff und Gleisgefüge voll einzudringen. Beide Mittel müssen vielmehr zusammenarbeiten, sich gegenseitig ergänzen und wechselseitig da eintreten, wo das eine oder das andere versagt.

Die äußeren Kraftangriffe erscheinen in zweifacher Form, entweder als ruhende Lasten und andere dauernd wirkende Angriffe, also als statische Kräfte, oder als Folgen von Massenbewegungen in Form von Stößen und Schwingungen, also als dynamische Angriffe. Die statischen Angriffskräfte sind von vornherein bekannt als senkrechte Raddrücke, oder lassen sich durch Rechnung ermitteln, wie Schraubenspannungen, Seitendrücke der Räder, Spannungen durch Wärme. Hier findet also die Rechnung bestimmte, unmittelbar zu verwertende Unterlagen vor. Die dynamischen Angriffskräfte werden bestimmt aus dem Zusammenwirken der Masse und ihrer Bewegung nach Geschwindigkeit und Richtung. Die Richtung ist abhängig von der Form der Bahn. Diese ist nun zwar in der Ruhelage bekannt oder leicht festzustellen, sie ändert sich jedoch unter der bewegten Last, erhält also ihre maßgebende Form erst unter dem Einfluß der Angriffskräfte selbst. Aus bekannten Massen und Fahrgeschwindigkeiten, aus bekannten Ruheformen und elastischen Eigenschaften der Stoffe lassen sich zwar die Formen des belasteten Gleises ableiten und danach die Angriffskräfte be-

stimmen, doch sind die dynamischen Angriffsarten zu wechselreich und zu verwickelt, um brauchbare, abgegrenzte Zahlenwerte durch die Rechnung allein gewinnen zu können. Hier müssen daher in breiterem Maße Beobachtungen einsetzen, welche die tatsächlichen Bewegungen und Formänderungen unter der Last unmittelbar festlegen.

Weiter ist zu untersuchen, wie diese äußeren Angriffskräfte vom Gleise als Spannungen aufgenommen und von Glied zu Glied übergeleitet werden, bis sie sich an irgendeiner Stelle erschöpfen. Auch diese inneren Vorgänge können berechnet werden nach bekannten Gesetzen der Statik, Dynamik und Elastizitätslehre, soweit die bewegten Massen und ihre elastischen Eigenschaften bestimmbar sind, und soweit die Anstrengungen des Stoffes innerhalb gewisser Grenzen, der Elastizitätsgrenzen der Stoffe, bleiben. Die Rechnung versagt indessen bei Überanstrengung des Stoffes über diese Grenze hinaus, weil die Vorgänge in solchem Zustande zu wenig bekannt, auch wohl zu wenig gesetzmäßig sind. Die Überanstrengungen, die bei gewissen dynamischen Angriffen stets erscheinen, lassen sich daher nur aus ihren Wirkungen, den dauernden Formänderungen beurteilen, die Formänderungen selbst aber, ihre Eigentümlichkeiten, ihre Entwicklung und ihre Abhängigkeit von den Angriffskräften nur aus umfangreichen und geordneten Beobachtungen.

Literatur. Der Oberbau ist rechnerisch von rein statischem Gesichtspunkte vielseitig behandelt worden, namentlich von Winkler, Schwedler, Hoffmann, Engeßer, Fränkel u. a., am gründlichsten im Zusammenhange von Dr. H. Zimmermann in seinem Werke „Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues“. Vorausgesetzt werden ruhende Radlasten und vollkommene Elastizität der Stoffe, auch des Gleisbettes. Auch die Wirkungen unter der rollenden Last sind der Rechnung unterworfen worden, u. a. von Boedecker: „Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene“, Ast: „Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Material“, die rein dynamischen Wirkungen besonders eingehend von Dr.-Ing. H. Saller: „Die Stoßwirkungen an Tragwerken und am Oberbau“. Wenn nun auch die Zustände im Gleise keineswegs so gleichartig sind, wie sie von der Rechnung vorausgesetzt werden müssen, und wenn auch die Rechnung allein nicht imstande ist, in alle Vorgänge einzudringen, die sich im Gleise abspielen, so bleibt sie doch ein unentbehrliches Mittel, bestimmte grundlegende Bedingungen zu entwickeln, denen die einzelnen Bestandteile des Gleises entsprechen müssen, und dem Gleise in seinem ganzen Aufbau gleichmäßige Widerstandsfähigkeit und den einzelnen Gliedern zweckmäßige Formen und Abmessungen zu geben.

Mit den bedeutsamen Fortschritten, welche die Methode der Berechnungen aufzuweisen hat, konnte die Beobachtung, welche der Rechnung zahlenmäßige Unterlagen zuzuführen, überhaupt in die Lücken der Rechnung einzutreten hat, bisher nicht gleichen Schritt halten, wohl wegen der

großen Schwierigkeiten, die sich umfassenden gründlichen Unternehmungen auf diesem Gebiete entgegenstellen. Immerhin zeugt eine Reihe hervorragender Einzelbeobachtungen von der Sorgfalt, die auch diesem Gebiete dauernd zugewendet wurde, u. a. M. M. v. Webers Beobachtungen und Versuche über die Standsicherheit des Gleises und seiner einzelnen Glieder und über die Festigkeit der Gleisverbindungen, die Beobachtungen von Wasiutynski über die elastischen Bewegungen und Formänderungen der Schienen, Schwellen, des Gleisbettes und Untergrundes unter der rollenden Last, sehr wertvolle Unterlagen für die Berechnung des Gleises, ferner die Untersuchungen von Schubert, die hauptsächlich über die dauernden Formänderungen und über die Standfestigkeit des Gleisbettes und Untergrundes grundlegenden Aufschluß geben, von Hänzschel über die elastischen Verhältnisse des Gleisbettes, die Forschungen von Funk, Flamache, Ast. Der Gleisbau im ganzen Umfange vom praktischen und theoretischen Standpunkt wurde namentlich behandelt von Blum: „Eisenbahntechnik der Gegenwart“ und von Haarmann: „Das Eisenbahngleis“.

Erst wenn es gelungen ist, eine klare und erschöpfende Vorstellung von dem Spiel der Kräfte im Gleise zu gewinnen, können zuverlässige Grundsätze für den Gleisbau aufgestellt werden, die trotz der Verschiedenartigkeit der Formen je nach den verwendeten Rohstoffen, nach dem örtlichen Klima und nach überkommenen Gewohnheiten doch einen sichern Wegweiser bilden, um in allen Verhältnissen den Aufbau des Gleises seiner Beanspruchung voll anzupassen. In den nachfolgenden Betrachtungen soll versucht werden, diesem Kräftespiel in seinen einzelnen Erscheinungen nachzugehen und aus ihm gewisse Schlußfolgerungen zu ziehen auf die Ansprüche, die an den Bau von Hauptverkehrsgleisen zu stellen sind, und auf die Fähigkeit der jetzt gebräuchlichsten Oberbauformen, diesen Ansprüchen gerecht zu werden. Dabei soll auf veraltete und verlassene Formen nicht näher eingegangen, sondern nur der in offenen Eisenbahngleisen jetzt allgemein übliche Querschwellenbau behandelt werden.

I. Teil.

Die angreifenden Kräfte und ihre Wirkungen im Gleise.

Art der Angriffe und Widerstände.

Kraftübertragung.

Die im Gleise wirkenden Kräfte haben ihren Ursprung in erster Linie in der Betriebslast, daneben in physikalischen Vorgängen, wie Dehnen der Stoffe durch Wärme, Auflösen durch Nässe, Frostauftriebe, in chemischen Zersetzungen, wie Fäulnis, Rost. Die Betriebslast äußert sich zunächst als senkrechter Raddruck, der zur Bestimmung der Tragfähigkeit des Gleises in Deutschland zur Zeit mit höchstens 9 t, in manchen andern Ländern erheblich höher angesetzt wird. Die geringe Stützfläche des Rades verursacht am Schienenkopf hohe Einheitsdrücke, um so mehr, je kleiner der Raddurchmesser ist, die schon unter ruhender Last auf etwa 2000 kg/cm^2 und mehr steigen. Vom Schienenkopf aus verbreitet sich der Druck auf die tiefer liegenden Gleisteile, jedoch in der Regel nicht als einfache Druckspannung, sondern unter Mithilfe von Biegespannungen, hervorgebracht durch die Elastizität des Gleises, durch die Stellung der Last außerhalb der Schienenstützpunkte und durch Übertragen von Einzellasten auf breite astische Stützflächen. Biegespannungen, eine Vereinigung von Zug- und ruckspannungen, können nur von festgefügten Stücken, wie Schienen, aschen, Schwellen aufgenommen werden, nicht von Schüttmassen, wie leisbett und Untergrund, die lediglich Druck- und Schubkräfte aufzuehmen vermögen. Jeder Druck erzeugt Schubspannungen, die in Schüttassen begrenzt sind durch die Reibungsziffer des Stoffes.

Die statische Berechnung des Querschwellengleises betrachtet den chienenstrang in der Regel als endlosen stetigen Träger mit dichten Einzeltützen auf elastisch nachgebender Unterlage und entwickelt aus ruhenden Einzellasten die elastischen Formänderungen im Gleise, die Spannungen im Schienen- und Schwellenquerschnitt und den Bettungsdruck, der in gleichbleibendem Verhältnis zur Senkung des Gleises angenommen wird. Zimmermann geht in seiner Berechnung vom Langschwellengleis aus, das r als endlosen, elastisch und voll gelagerten Stab betrachtet, berechnet die lastische Linie des Stabes, die Bettungsdrücke, die Neigungsverhältnisse er elastischen Linie, die Biegemomente und die Querkräfte, zunächst unter

dem Einfluß einer Einzellast. Die Gesamtwirkung mehrerer Lasten an irgendeinem Punkte des Stabes ist gleich der algebraischen Summe der Wirkungen aller einzelnen Lasten an diesem Punkte. Er erörtert sodann die Wirkung von Stetigkeitsunterbrechungen im Stabe, findet z. B., daß ein Schienenstoß, an welchem die Schienenenden senkrecht frei gegeneinander verschieblich sind, ohne jedoch das Biegemoment zu unterbrechen, unter der Last dreifach so tief einsinkt als der stetige Stab und doppelt so tief wie dieser, wenn zwar die Schienenenden unverschieblich verbunden sind, das Biegemoment am Stoß aber unterbrochen ist, daß schließlich bei vollständigem Durchschneiden des Stabes die größte Senkung vervierfacht, die größte Querkraft verdoppelt, das größte Biegemoment um 4,3 % erhöht wird. Bei voller Unterbrechung des Stabes an zwei Stellen entsteht ein Stab von endlicher Länge und als Sonderfall unter zwei symmetrischen Einzellasten die Querschwelle.

Die elastische Linie des Querschwellengleises (Abb. 1) deckt sich bei enger Schwellenlage ziemlich genau mit der eines Langschwellengleises von gleich großem Trägheitsmoment des Gestänges und gleich großer Stützfläche auf der Bettung. Die Senkungstiefe d unter der schwersten Radlast beträgt

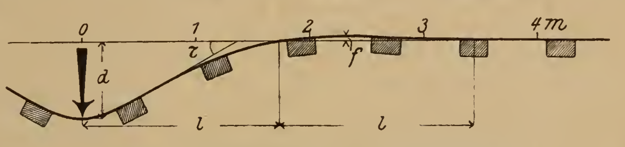


Abb. 1. Gleissenkung unter Ruhelast.

bei kräftigem Oberbau auf rauher Bettung im Durchschnitt etwa 2 mm, der Hub f vor dem Rade nur den 23. Teil, das Neigungsverhältnis tg τ etwa 1 : 600. Der Schienendruck auf der Schwelle wird von Hoffmann und Schwedler als Stützendruck eines auf elastischen Einzelstützen ruhenden Trägers für gewisse Laststellungen berechnet, kann aber für enge Schwellenteilung auch aus der ziemlich übereinstimmenden Senkung des Langschwellengleises, wie sie von Zimmermann ausführlich behandelt wird, abgeleitet werden, da der Bettungsdruck und somit auch der Schienendruck im gleichen Verhältnis zur Senkung steht. In kräftigen Gleisen mit enger Schwellenlage erreicht der größte Schienendruck rechnungsmäßig nur etwa die halbe Größe der Radlast, nach Beobachtungen von Wasiutynski noch weniger.

Aus den von Zimmermann aufgestellten Gleichungen ergeben sich folgende allgemeine Beziehungen zwischen Schienen, Bettung und Querschwellen, für letztere bis zur Länge von etwa 3 m:

1. Das Biegemoment der Schiene ist um so geringer, je enger die Schwellenlage, je starrer die Schwelle und je unnachgiebiger die Bettung,
2. der Schienendruck auf der Schwelle ist um so geringer, je starrer die Schiene, je enger die Schwellenlage und je nachgiebiger die Bettung,

3. das Biegemoment der Schwelle ist um so geringer, je biegsamer und je länger die Schwelle und je unnachgiebiger die Bettung,
4. der Bettungsdruck ist um so geringer, je starrer die Schiene und Schwelle, je länger die Schwelle und je nachgiebiger die Bettung.

Die Schienenlaschen berechnet Zimmermann unter der Annahme schwebenden Stoßes und voller Übertragung des Schienendruckes auf die Laschenstützflächen, und findet, daß die Spannungen in den Laschen um so geringer sind, je größer die Starrheit der Schienen im Verhältnis zur Starrheit der Laschen und je geringer der Abstand der Stoßschwellen, daß ferner mit zunehmender Länge der Laschen zwar der Druck an den Laschenstützflächen vermindert, die Biegespannung kräftiger Laschen im Stoßquerschnitt aber vermehrt wird, daß schließlich mit zunehmendem Verschleiß der Laschenstützflächen die Laschen selbst entlastet werden, allerdings zum Schaden der übrigen Gleisteile und des ganzen Gleisgefüges. Er weist ferner nach, daß die Laschen im Vergleich mit den anderen Tragteilen des Gleises sehr stark beansprucht werden und Spannungen von mehr als 3000 kg/cm^2 aufzunehmen haben.

Bewegte Last. Aber weniger die ruhende Last gibt den Angriffen auf das Gleisgefüge ihr eigentümliches Gepräge als die bewegte Last mit ihren Begleiterscheinungen, den vermehrten statischen und den dynamisch wirkenden Kräften. Diese Kraftarten entspringen teils aus der Bauart und dem Antrieb der Fahrzeuge, Federschwingungen, unausgeglichenen Massenwirkungen, schnellem Wechsel im Belasten und Entlasten des Gleises, teils aus der Form der Gleisbahn. Der schräg gerichtete Druck der Antriebstangen an den Lokomotivachsen vermindert oder vermehrt die Raddrücke der Triebachsen bis etwa 25 % der Ruhelast und erzeugt Schwingungen des ganzen Fahrzeuges um eine wagerechte Querachse, die versetzten Antriebkurbeln wirken auf pendelnde Bewegungen um eine senkrechte Achse. Die wechselnden Spannungen in der durchgehenden Zugstange werfen und drücken die Fahrzeuge seitlich an die Schienen, namentlich in Gleiskrümmungen.

Weitere dynamische Angriffe entstehen durch Gleitbewegungen, durch zwangweises Ablenken der Fahrt, vor allem durch unvermittelten, meist aus Fehlern in der Gleislage entspringenden harten Stoß. Gleitbewegungen erscheinen in erster Linie zwischen Rad und Schiene, sodann im elastisch beweglichen Gleise an allen Berührungsstellen der verbundenen Gleisteile, sofern sie nicht unverschieblich miteinander vereinigt sind, namentlich zwischen den Schienen und Laschen, zwischen den Schienen und ihrem Lager auf den Schwellen, an allen Befestigungsstücken, zwischen den Schwellen und dem Gleisbett und zwischen den einzelnen Bestandteilen der Bettung selbst. Die Folge ist starke Reibungstätigkeit, Zerstörung des Stoffgefüges und Verschleiß an den berührenden Flächen. Ablenkungen der

Fahrt entstehen in senkrechtem Sinne durch Unebenheiten der Bahn, in wagerechtem Sinne aus gleichen Ursachen und aus Schlingerbewegungen der Fahrzeuge. Wirken die Ablenkungen nicht als schnell vorübergehende, sondern als stetige Angriffe, so haben sie die Eigenschaften statischer Kräfte, die oft als Fliehkräfte statisch behandelt werden können, wie sie namentlich in Gleisbögen auftreten.

Der Stoß entsteht durch plötzliche Störung einer Massenbewegung. Stoßkräfte. Als Maßstab für die dabei freiwerdende Stoßarbeit gilt die dem stoßenden Körper innewohnende lebendige Kraft $\frac{1}{2}\,mv^2$, in der m die stoßende Masse, v die Anschlaggeschwindigkeit in Metersekunden bezeichnet. Die Wirkung des Stoßes äußert sich in zweifacher Art, zunächst als Zerstörung lebendiger Kraft, in die Erscheinung tretend als Überanstrengung des Stoffes, Stoffverschleiß, Stoffverdrückung. Diese Wirkungsart ist eine notwendige Folge des Massenstoßes, sie tritt um so schärfer hervor, je geringer die elastische Nachgiebigkeit der aneinander stoßenden Körper ist. Die zweite Wirkungsart äußert sich als Umsatz lebendiger Stoßkraft in innere elastische Spannung des Stoffes, durch welche neue, meistens in schwingender Form auftretende Bewegungen eingeleitet werden. Sie führen nicht notwendig zu Überanstrengungen des Stoffes, sondern nur dann, wenn in den inneren Spannungen die elastische Grenze überschritten wird. Dieser Umsatz lebendiger Kraft in lebendige Spannung ist um so vollkommener, je größer die elastische Nachgiebigkeit der Stoßkörper, je größer die Zeitdauer, in welcher die Stoßarbeit sich abspielt. Da nun jedem Körper eine gewisse Elastizität eigen ist, so tritt die volle Wirkung des Stoßes nie augenblicklich ein, sondern erst im Verlaufe einer, wenn auch noch so kurzen Zeit, die dem Abspielen der elastischen Tätigkeit entspricht.

Wird ein ruhender elastischer Körper von einem fallenden Körper getroffen, so nimmt zunächst nicht seine ganze Masse an der elastischen Arbeit teil, sondern nur die oberste getroffene Schicht. Denn die Massenträgheit, d. h. der Widerstand, den jede Masse einer Störung ihres Ruhe- oder Bewegungszustandes entgegensetzt, kommt zuerst in der obersten Schicht zur Geltung, wirkt daher verzögernd auf die Kraftübertragung nach unten. Je tiefer die Senkung fortschreitet, desto größer wird die entgegenwirkende Masse, desto größer auch die gesamte elastische Spannung innerhalb der Masse, bis der Zeitpunkt eintritt, in welchem die Gegenkräfte der Stoßkraft das Gleichgewicht halten und weitere Senkung verhindern. Bei diesem Vorgang wird der Teil der Stoßkraft, welcher lediglich zum Überwinden der Massenträgheit aufzuwenden ist, vernichtet, während der übrige Teil in elastische Spannung umgesetzt wird, die nun nach oben zurückwirkt und ein Spiel von Schwingungen einleitet, das erst allmählich durch die Massenträgheit und die innere Reibung aufgezehrt wird. Bei sehr kurzer Dauer gewinnt eine solche Schwingung aber nicht Zeit, sich bis in die untersten Schichten einer großen Masse voll fortzupflanzen, be-

schränkt sich daher mehr oder weniger auf den oberen Teil der Masse, während der untere Teil nur einem nahezu ausgeglichenen, der Ruhelast entsprechenden Druck ausgesetzt bleibt. Diese Art der Stoßwirkung spielt im Gleise eine große Rolle und kommt um so mehr zur Geltung, da es sich stets um sehr geringe Stoßhöhen und kurze Belastungsdauer handelt. Ein Teil der an den Schienen ansetzenden Stoßkraft wird schon von der Masse der Schienen selbst verarbeitet, ein anderer von den Schwellen, der Rest vom Gleisbett und Untergrund. Je größer die Masse des Gleises, um so mehr vermag sie die Stoßkraft aufzuzehren und die Unterlage vor Stoßwirkungen zu schützen. Daraus erklärt sich der günstige Einfluß der Gleisschwere auf die Dauerhaftigkeit der Gleislage. Die elastische Kraftübertragung gestaltet sich noch günstiger, wenn sie nicht unmittelbar von der Ursprungstelle bis zum Untergrund vor sich geht, sondern, wie es im Gleise meistens geschieht, unter Mitwirkung der ausgiebigeren Biegungselastizität. Saller berechnet die Stoßwirkungen, indem er sie in statische Spannungen umsetzt und die Größen der Ruhelasten ermittelt, unter denen das Gleis sich ebenso tief elastisch senken würde wie unter den geringeren stoßenden Lasten. Er findet die Stoßwirkung um so weniger schädlich, je vollkommener sie in elastische Formänderungsarbeit umgesetzt wird, d. h. je größer die Elastizität und die Masse des gestoßenen Körpers und je geringer die Stoßhöhe ist.

Kraftwirkungen am Schienenstrange.

Fahrt auf ebener Bahn.

Bewegt sich ein Rad langsam auf ebener elastischer Bahn (Abb. 2, 1), so wirkt vor und hinter dem Rade gleicher Gleisauftrieb, es herrscht statisches Gleichgewicht wie im Ruhezustand, die Bewegung ist wider-

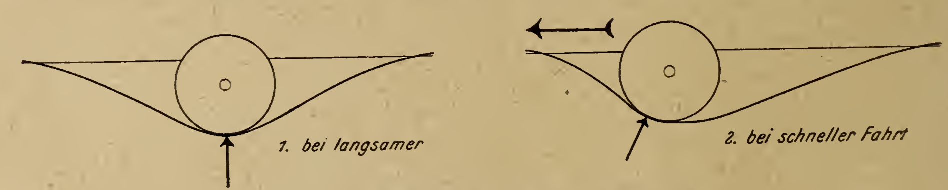


Abb. 2. Gleissenkung unter bewegter Last.

standslos wie auf unelastischer Bahn. Wird das Rad in schnelle Bewegung gesetzt, so ist die Bahn bei ihrer Massenträgheit nicht mehr imstande, sich entsprechend der Laststellung genügend schnell vor dem Rade zu senken und hinter dem Rade zu heben. Vor dem Rade entsteht daher erhöhter Widerstand, hinter dem Rade verringerter Auftrieb (Abb. 2, 2). Infolgedessen wird das Rad gehoben, bis Radlast und Gegendruck sich ausgleichen. Bei schneller Fahrt auf ebener Bahn bewegt sich also das Rad in höherer Lage als bei langsamer Fahrt, und die elastische Einsenkung wird geringer, obgleich die Last gleich groß bleibt. Denn ein Teil des Druckes wird unmittelbar durch die Massenträgheit des Gleises aufgenommen, daher wir-

kungslos auf die Senkung des Gleises. Als Grenzfall würde eine unendlich große Geschwindigkeit zu betrachten sein, bei der jede elastische Gleissenkung verschwinden müßte, weil die geringste Senkung einen unendlich großen Widerstand zur Folge haben würde. Daß tatsächlich eine Störung der statischen Gleichgewichtslage stattfindet, wird auch durch die Beobachtungen von Wasiutynski bestätigt, nach denen die Länge der Gleissenkung vor dem Rade bei schneller Fahrt geringer ist als bei langsamer. Freilich ist diese Störung selbst bei den größten gebräuchlichen Geschwindigkeiten nur gering einzuschätzen, z. B. bleibt nach überschläglicher Schätzung bei einer Fahrgeschwindigkeit von 120 km der Gleisauftrieb nur etwa 10 cm hinter der Radstellung zurück. Immerhin ist bemerkenswert, daß bei schneller Fahrt auf ebener Bahn die unteren Gleisteile, namentlich die Bettung, geschützt durch die überliegende Gleismasse, nicht größeren Angriffen ausgesetzt sind als bei langsamer Fahrt, wie auch von Pihera, Coüard und Hänzschel bestätigt wird.

Hat das Rad eine Gleiswulst zu überfahren, so widerstrebt es wegen seiner Massenträgheit zunächst, der gegebenen Bahn zu folgen, drückt also stärker auf das Gleis. Mit welchem Anteil bei diesem verstärkten Druck einerseits das Gleis gesenkt, anderseits das Rad gehoben wird, ist wesentlich abhängig von dem Verhältnis der Radmasse zur Gleismasse. Überwiegt die Radmasse, so wird zunächst das elastische Gleis schneller und stärker gesenkt, das Rad aber erst allmählich durch den vermehrten Gegendruck des Gleises gehoben, dabei über die mittlere Lage emporgeworfen und gemeinsam mit dem Gleise in Schwingungen versetzt, die abwechselnde Mehr- und Minderbelastungen des Gleises zur Folge haben. Die Fahrt durch eine Gleissenke beginnt mit Entlastung des Gleises, verläuft aber im übrigen in gleicher Weise. Pihera*) behandelt diese Vorgänge durch Einführen lotrechter Fliehkräfte, die beim Überfahren der Unebenheiten auftreten. Es ist erklärlich, daß Bahnen, selbst wenn sie nur geringe Unebenheiten aufweisen, bei schneller Fahrt im allgemeinen stärkeren Senkungen ausgesetzt sind als bei langsamer Fahrt. Das wurde auch durch die Schnellfahrten auf der elektrischen Versuchsbahn Berlin—Zossen bestätigt, welche bei Geschwindigkeiten über 140 km in alten Gleisstrecken Senkungen bis 6 mm zur Folge hatten. Wasiutynski findet verstärkte Gleissenkungen bei Geschwindigkeiten von mehr als 64 km.

Fahrt auf unebener Bahn.

Die senkrechten Bewegungen des Rades werden nun nicht unmittelbar auf die Hauptmasse des Fahrzeuges, das Obergestell übertragen, sondern mittelbar durch die Federung. Jeder schnelle Wechsel in der Höhenlage des Rades ändert in gleichem Maße die Durchbiegung der Feder und damit auch ihre Spannung. Nur dieser sehr geringe Spannungswechsel wirkt auf die Bewegung des Obergestells, er bildet die beschleunigende Kraft, aus der sich die senkrechten Schwingungen des Obergestells nach bekannten

*) Organ 1914 S. 73.

Schwingungsgesetzen entwickeln. In flachen und kurzen Gleissenkungen ist der Spannungswechsel und somit die senkrechte Beschleunigung so gering, daß das schwere Obergestell kaum durch das Federspiel in Bewegung gesetzt wird. Z. B. senkt sich beim Durchfahren einer 1 m langen, 5 mm tiefen Gleissenke mit 90 km Fahrgeschwindigkeit rechnungsmäßig das Obergestell eines Personenwagens nur etwa 0,1 mm. Die Schläge in den gewöhnlichen Stoßknicken machen sich daher bei schneller Fahrt für die Fahrgäste nicht durch das Gefühl, sondern lediglich durch das Gehör bemerkbar. Bei den Massenwirkungen zwischen Rad und Schiene in senkrechtem Sinne erscheint hiernach in der Regel als bewegte Masse nur der nicht abgefederte Radsatz, als beschleunigende Kraft für diesen aber das Gewicht des Radsatzes nebst dem vollen Federdruck, d. h. die volle Achslast. Bedeutet $n = P : G$ das Verhältnis der vollen Achslast P zum Gewicht G des ungefederten Radsatzes, g die Fallbeschleunigung 9,81, h die Fallhöhe, so wird für ein freifallendes unter Federdruck stehendes Rad in senkrechtem Sinne die Beschleunigung gleich n.g, die Fallgeschwindigkeit $v^2 = 2\ ngh$ (m/s). Als Durchschnittswert n kann für Triebachsen von Schnellzuglokomotiven etwa 3,2, für Laufachsen an Lokomotiven und Wagen etwa 10 angenommen werden. Das laufende Rad kann nur dann frei fallen, sich also voll von der Schiene ablösen, wenn die Form der Fahrbahn an irgendeiner Stelle des Gleises nicht nur der freien Fallinie des Rades entspricht, sondern weiterhin auch Raum bietet für den freien Aufschlag des entlasteten Gleises. Diese Möglichkeit könnte in den tiefen und steilen Senkungen von Schienenstößen vorausgesetzt werden (Abb. 3), doch eine ungefähre Rechnung ergibt, daß bei einer halben Knicklänge von a = 20 cm das schnellfahrende Rad erst dann sich vollständig von der Schiene ablöst, wenn die Knicktiefe h auf etwa 6 mm gestiegen ist, ein Zustand, der auf schnell befahrenen Strecken selten eintritt. Dagegen kann in fallenden Gleisstufen, wie sie bei doppelgleisigem Betriebe an alten Stößen oft sich bilden, und in weitgeöffneten Stoßlücken wohl mit vollem Ablösen des Rades gerechnet werden. Von größerer Bedeutung sind indessen die Schlagwirkungen, die stets, auch ohne Ablösen des Rades, beim Durchfahren von Stoßknicken und Stoßstufen entstehen.

Bewegungen am Schienenstoß.

Im Stoßknick (Abb. 3) wird zunächst der Druck des rollenden Rades auf der fallenden Strecke A B geringer, das Rad senkt sich, während das entlastete Gleis sich hebt. Bei B trifft das fallende Rad unvermittelt das aufwärts schlagende Ende der festverbundenen Anlaufschiene, erzeugt also die ungünstigste Stoßwirkung, nämlich starken Verlust an lebendiger Kraft bei geringem elastischen Umsatz. Nach dem Schlage senkt sich das Gleis plötzlich unter der Masse des Rades, hebt sich dann aber allmählich durch die eigene vermehrte Spannung.

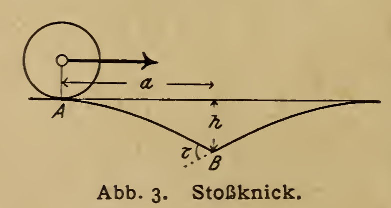


Abb. 3. Stoßknick.

Beobachtungen über diese Vorgänge liegen vor von der österreichischen Kaiser-Ferdinands-Nordbahn*). Sie erstrecken sich auf die elastischen Senkungen der beiden Schienenenden und auf die dabei entstehenden vorübergehenden Stufenbildungen. Bei der Wichtigkeit, die gerade den Bewegungsvorgängen am Schienenstoß beizumessen ist, wurden vom Verfasser weitere Beobachtungen über den Verlauf der Bewegungen an Schiene und Rad in der Umgebung des Stoßes angestellt. Zu diesen Untersuchungen wurden auf einer fünf Jahre alten eingleisigen Strecke mit Schienen von 33 kg Gewicht auf Holzschwellen sechs Stöße ausgewählt mit mehr oder weniger ausgebildeten Stoßknicken, aber mit gut schließenden Laschenverbindungen, so daß beide Schienenenden fast genau die gleichen Bewegungen vollführten. Die Belastung geschah durch eine einzelne Lokomotive mit einem Raddruck an der Vorderachse von 6,2 t, bei Fahrgeschwindigkeiten von V = 75 bis 25 km/h in jeder Gleisrichtung. Es kam nun darauf an, während der Fahrt sowohl den Umfang als die Geschwindigkeit der senkrechten Gleisbewegungen am Schienenstoß festzustellen, um daraus die Spannungen im Gleise und die mechanischen Kraftäußerungen am Stoß beurteilen zu können. Zu dem Zwecke wurden nach Abb. 4 an jedem Stoß sechs Meßstellen gewählt, und zwar beiderseits dicht am Stoß und in Entfernungen von je 45 und 90 cm von der Stoßmitte. An jeder der sechs Meßstellen wurde seitlich am Schienenkopf ein Streifen a aus Zinkblech befestigt, an den sich eine breite Blattfeder b mit Stahlstift lehnt. Sämtliche sechs Blattfedern ruhten auf einem gemeinsamen Schieber, der in sicherer Führung auf zwei tief eingeschlagenen Pfählen der Länge nach beweglich war. Der Schieber wurde selbsttätig durch das Rad mittels einer 2 m langen Druckschiene in Bewegung gesetzt, die mit dem einen Ende auf dem Fuß der gegenüberliegenden Schiene gelagert und so geformt war, daß sie von dem überfahrenden Rade mit gleichmäßiger Geschwindigkeit niedergedrückt wurde. Die Bewegung der Druckschiene wurde durch Hebel und Welle d auf den Schieber übertragen. Hierdurch verschoben sich während der Überfahrt die Schreibstifte der Blattfedern gleichmäßig um etwa 3 cm und zeichneten auf den Zinkstreifen Meßbilder, welche die Einsenkung des Gleises an sechs Punkten für jede Radstellung in wirklicher Größe erkennen ließen. Die gerade Grundlinie wurde zuvor durch Verschieben mit der Hand eingerissen. Diese Meßbilder fielen so scharf aus, daß sie noch auf 0,1 mm genügend genau abgelesen werden konnten. Die Vorrichtung wurde nach der Überfahrt des ersten Lokomotivrades selbsttätig ausgeschaltet, wirkte also nur einmal.

Eine unzulässige Ungenauigkeit könnte bei diesem und bei ähnlichen Verfahren darin erblickt werden, daß die Pfähle, die den Schieber tragen, keinen festen Stützpunkt bilden, sondern mit dem Untergrunde nachgeben, auch wenn sie bis zu einer Tiefe von 1 m eingetrieben sind. Um hierüber Gewißheit zu erlangen, wurden die tatsächlichen Einsenkungen eines solchen

*) Organ 1900, Ergänzungsheft.

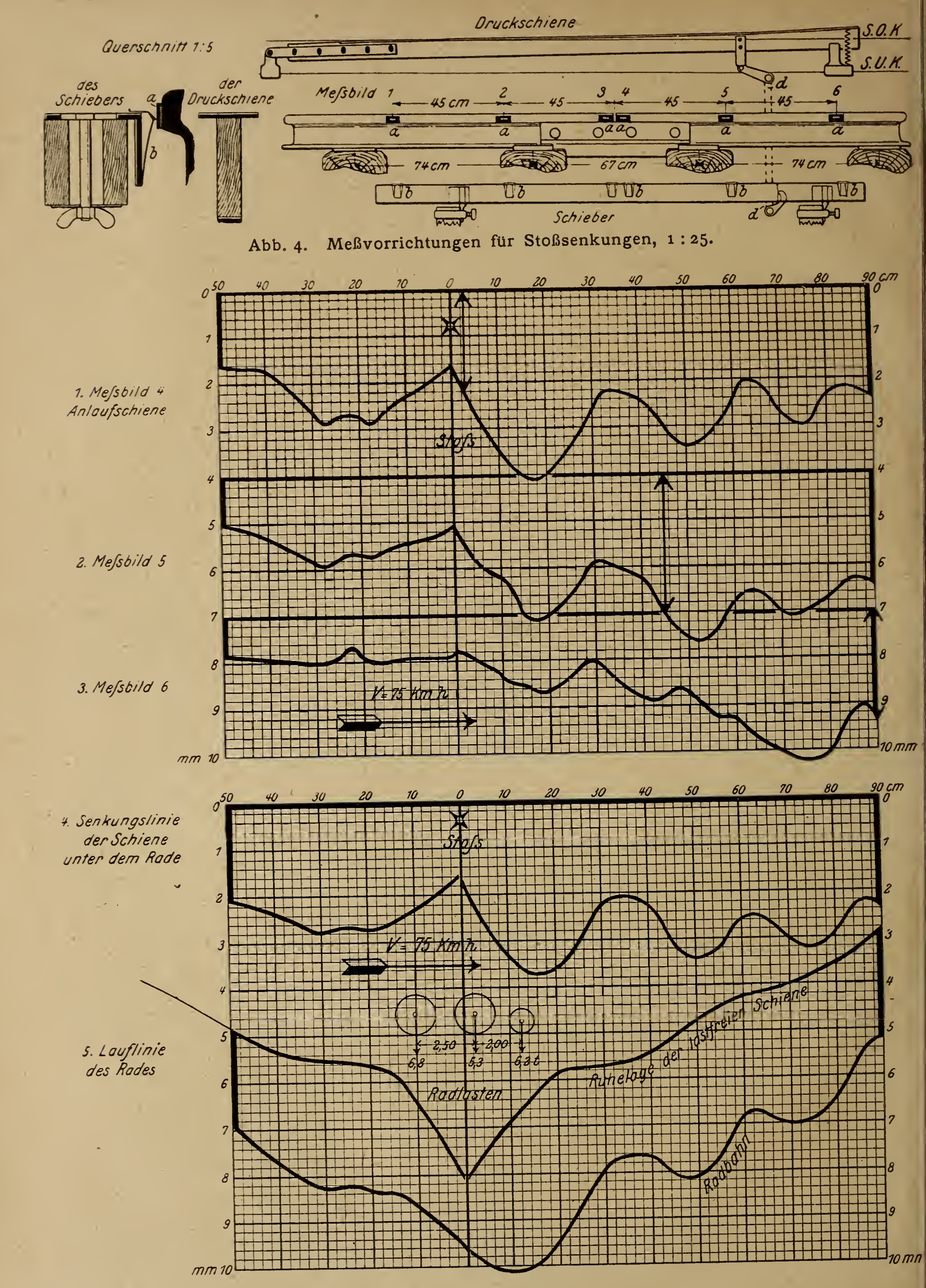


Abb. 4. Meßvorrichtungen für Stoßsenkungen, 1 : 25.

Abb. 5. I. Stoß.

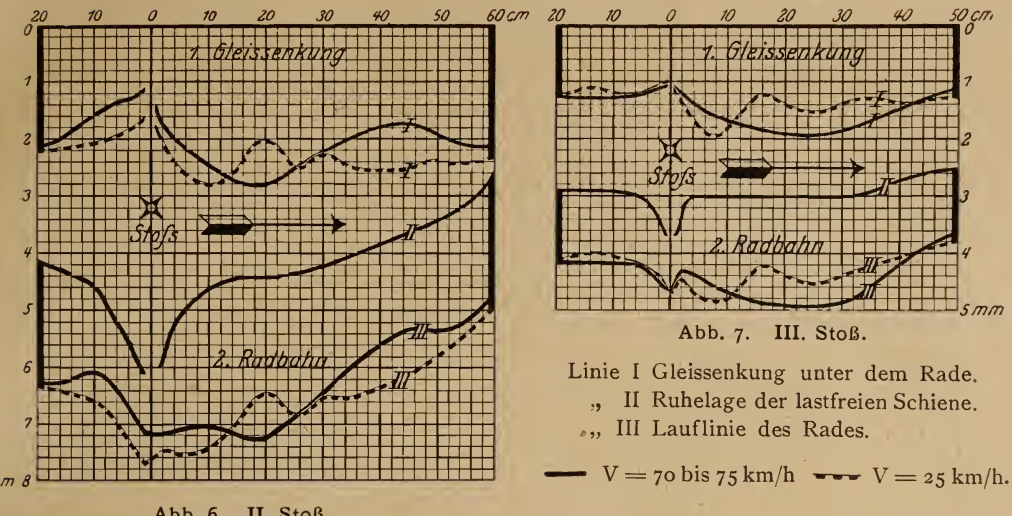


Abb. 6. **II. Stoß.**

Abb. 7. **III. Stoß.**

Linie I Gleissenkung unter dem Rade.
„ II Ruhelage der lastfreien Schiene.
„ III Lauflinie des Rades.

—— V = 70 bis 75 km/h - - - V = 25 km/h.

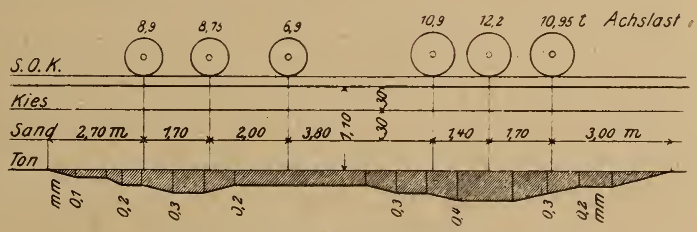


Abb. 8. Senkung des Untergrundes.

Pfahles bei verschiedenen Laststellungen gemessen, und daraus die Bodensenkungen unter einer ruhenden Lokomotive in einer Tiefe von 1,1 m bestimmt. Wie aus Abb. 8 ersichtlich, bildet sich eine sehr flache, unter dem Vorderrade nur 0,3 mm tiefe Senkung, die wohl zum Feststellen der ganzen Gleissenkung in Frage kommt, aber auf die gegenseitigen Bewegungen zwischen Rad und Schiene, auf die es hier ankommt, ohne Einfluß ist. Ebenso verhält es sich mit den Erschütterungen, denen die Pfähle gemeinsam mit dem umgebenden Boden ausgesetzt sind. Wenn auch das Verfahren nicht die Genauigkeit wirklicher Feinmessungen beanspruchen kann, so reicht es doch aus, um einen Einblick in die Eigentümlichkeiten der Bewegungen je nach der Form der Bahn und nach der Fahrgeschwindigkeit zu gewähren.

In den Abb. 5, 1 bis 3 sind nun die Meßbilder 4 bis 6 von einem stark niedergeschlagenen Schienenstoß (Abb. 5, 5) in vergrößertem und 100 fach verzerrtem Maßstabe dargestellt. Die Längenmaße bedeuten die Entfernung der Laststelle von der Stoßmitte, die zugehörigen Höhenmaße die Senkungen der Meßbildstelle bei dieser Laststellung. Die Laststellung an der Meßbildstelle selbst und die Senkung an dieser Stelle ist durch Doppelpfeil gekennzeichnet. Schaltet man zwischen den sechs Meßbildern durch Mittelung noch weitere Bilder ein, so erhält man in einer fortlaufenden Reihe von

Punkten die Senkung der Schiene unmittelbar unter dem rollenden Rade (Abb. 5, 4). Wird nun weiter die so gewonnene Senkungslinie unter der Ruheform der unbelasteten Schiene abgetragen, so entsteht die Senkungslinie des Rades, also die Bahn, die das Rad tatsächlich beschreibt (Abb. 5, 5).

Wie aus den Abb. 5, 1 bis 3 ersichtlich, haben die Meßbilder untereinander gewisse Ähnlichkeiten in der Form. Überall hebt sich das Gleis kurz vor dem Überfahren des Stoßes, wird beim Anschlag des Rades an die Anlaufschiene scharf abwärts geworfen und dann in Schwingungen versetzt. Diese Erscheinungen sind natürlich am meisten ausgeprägt in dem dicht am Stoß gelegenen Meßbilde (Abb. 5, 1). Ein ähnliches Gepräge zeigt die fortlaufende Senkungslinie des Gleises unter dem Rade (Abb. 5, 4) und die Radbahn selbst (Abb. 5, 5). Während aber die Senkungslinie des Gleises am Stoß scharf nach unten geknickt ist, erleidet die Bahn des Rades daselbst nur geringe Ablenkung, weil das Rad an Masse und Fallgeschwindigkeit dem Gleise bedeutend überlegen ist.

In den Abb. 6 und 7 sind die Ergebnisse von zwei andern Stößen mit weniger tiefen aber steileren Knicken bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten dargestellt. Die steile, stark gespannte Anlauframpe leistet dem Raddruck größeren Widerstand, das Rad wird daher beim Aufschlag stärker abgelenkt, auch nach oben geworfen (Abb. 6, 2 und 7, 2 Linie III).

Schlagwirkungen am Schienenstoß.

Die Vorgänge beim Überfahren von Stoßknicken vereinigen die Eigentümlichkeiten des unelastischen und des elastischen Stoßes. Im Augenblicke des Anschlages ist der Stoß zwischen dem starren Rade und der Masse des Gleises als nahezu unelastisch aufzufassen. Die hierbei entstehende unelastische Schlagwirkung wird gemessen durch die lebendige Kraft der stoßenden Massen des Rades und des Gleises. Ihre Größe ergibt sich aus der Größe der Massen und dem plötzlichen Wechsel ihrer senkrechten Geschwindigkeiten im Augenblicke des Anschlages, also als algebraischer Unterschied der lebendigen Kräfte unmittelbar vor und nach dem Anschlag, mit Beachten der Richtung. Die senkrechten Geschwindigkeiten lassen sich aus den Beobachtungen leicht ermitteln. Z. B. senkt sich in Abb. 5, 5 das Rad auf der 55 mm langen Strecke vor dem Schienenstoß um 0,6 mm. Diese Strecke wird bei 75 km Fahrgeschwindigkeit in $^1/_{380}$ Sekunde durchfahren. Die senkrechte Geschwindigkeit des Rades beträgt also vor dem Stoß 0,23 m/s, wird aber beim Anschlag auf 0,15 m/s ermäßigt. Das Gewicht des am Stoße beteiligten nicht abgefederten halben Radsatzes beträgt 550 kg, die im Rade wirkende lebendige Kraft vor dem Stoße daher $\frac{1}{2} \cdot 550 \cdot 0{,}23^2 : g = 1{,}48$ kg/m/s, nach dem Stoße $\frac{1}{2} \cdot 550 \cdot 0{,}15^2 : g = 0{,}63$ kg/m/s, beide nach unten gerichtet. Der Unterschied ist also $1{,}48 - 0{,}63 = 0{,}85$ kg/m/s. Das Gleis schlägt nach Abb. 5, 1 vor dem Stoß mit 0,21 Geschwindigkeit nach oben, nach dem Stoß aber mit 0,42 nach unten. Der Wechsel der lebendigen Kraft erscheint also hier als Summe der Einzelkräfte. Nun ist aber die beim Stoße wirksame

Gleismasse nicht ohne weiteres bekannt. Sie richtet sich nach der Ausdehnung, in welcher das Gleis durch die Last beansprucht wird, nach der Schnelligkeit, mit der sich der Stoß in der Gleismasse fortpflanzt, dem Elastizitätsgrade der Gleismasse und nach der Spannung, unter der das Gleis zur Zeit des Anschlages steht. Je geringer die Elastizität und je größer die Spannung, desto tiefer hinab reicht der als Stoßmasse mitwirkende Teil des Gleises, einschließlich des Gleisbettes. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Spannung im Gleise nicht gleichmäßig über die ganze Längenausdehnung des mitwirkenden Gleisstückes verteilt ist, sondern mit dem Abstand vom Lastpunkte abnimmt, ebenso mit der Tiefe unter der Oberfläche. Durch Rechnung wird sich die veränderliche wirksame Gleismasse schwerlich sicher bestimmen lassen, aber sie läßt sich mit Hilfe der Beobachtungen aus einem allgemeinen Gesetz des unelastischen Stoßes ableiten. Bedeutet nämlich v_I und v_{II} die senkrechte Geschwindigkeit des Rades vor und nach dem Stoße, w_I und w_{II} die des Gleises, m die bekannte Masse des Rades, μ die im Stoßpunkt vereinigt gedachte wirksame Masse einer Gleishälfte, so ist nach dem Stoßgesetz:

$$m v_I + \mu w_I = m v_{II} + \mu w_{II}, \text{ daraus } \mu = \frac{m(v_I - v_{II})}{w_{II} - w_I}.$$

Für Abb. 5 ergibt sich nach Einsetzen der bekannten Werte das wirksame Stoßgewicht der Gleishälfte zu 70 kg, und die ganze unelastische Schlagwirkung am Stoß durch Rad und Gleis wird ausgedrückt als Unterschied zwischen den lebendigen Kräften vor und nach dem Stoß durch:

$$\left(\tfrac{1}{2} m v_I^2 - \tfrac{1}{2} m v_{II}^2\right) + \left(\tfrac{1}{2}\mu w_I^2 - \left(-\tfrac{1}{2} v w_{II}^2\right)\right) =$$

$$\frac{1}{2 \cdot 9{,}81}\left(550 \cdot 0{,}23^2 - 550 \cdot 0{,}15^2 + 70 \cdot 0{,}21^2 + 70 \cdot 0{,}42^2\right) = 1{,}64 \text{ kg/ms}.$$

Diese Schlagwirkung bedeutet also nicht einen Umsatz in elastische Formänderung, sondern zerstörte, oder besser gesagt in dauernde Formänderung umgesetzte Stoßarbeit. Nach vollführtem Stoß aber entwickelt sich eine neue Arbeit, hervorgebracht durch das Gewicht der Last und den entgegengesetzten Auftrieb des Gleises, beide unter dem Einfluß ihrer nach dem Stoße vorhandenen senkrechten Geschwindigkeit. Diese Arbeit wird in elastische Gleisspannung umgesetzt und führt zu den Schwingungen, die stets nach dem Stoß zu beobachten sind. Ihre Größe wird im allgemeinen in gleichbleibendem Verhältnis angenommen zur tiefsten Senkung des Gleises nach dem Stoße. Doch ist auch hier mit einer unbestimmten, wahrscheinlich während des elastischen Vorganges wechselnden wirksamen Gleismasse zu rechnen. Die zuerst auftretende Schlagwirkung des unelastischen Stoßes erstreckt sich in erster Linie auf die gestoßenen Flächen, in abnehmender Wirkung auf die tiefer liegenden Gleisbestandteile. Sie ist die Ursache der bekannten dauernden Formänderungen und sonstigen Schäden an den Schienenenden und ihren Lagern, die der fortschreitenden Umbildung

des Schienenstoßes ihr eigentümliches Gepräge geben. Die weiter folgenden elastischen Anstrengungen sind weniger schädlich. Sie lassen sich ausdrücken durch statische Spannungen unter vermehrter Ruhelast, denen im Aufbau des Gleises Rechnung getragen werden kann.

Die Hauptergebnisse der beschriebenen Beobachtungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Die unelastische Schlagwirkung am Stoß wächst mit der Fahrgeschwindigkeit. Sie ist bei 75 km Geschwindigkeit etwa viermal so groß als bei 25 km,
2. sie wächst mit dem Knickwinkel τ des Stoßes (Abb. 3), steigt bei 75 km Geschwindigkeit von 1,6 kg/m/s im Knickwinkel 1 : 28 stetig bis auf 7,0 kg/m/s im Knickwinkel von 1 : 19, bei 25 km Geschwindigkeit in denselben Stoßknicken weniger gleichmäßig von 0,3 bis 1,4 kg/m/s,
3. sie wächst mit der beim Aufschlage wirksamen Gleismasse, und zwar stetig bei langsamer, weniger stetig bei schneller Fahrt.
4. Die wirksame Gleismasse ist um so größer, je weniger das Gleis sich vor dem Stoße hebt, je größer also die Spannung des Gleises im Augenblick des Anschlages ist, und zwar regelmäßiger bei schneller als bei langsamer Fahrt. Das wirksame Gewicht einer Gleishälfte wechselte zwischen 70 und 1100 kg.
5. Je tiefer der Stoßknick, desto mehr hebt sich das Gleis vor dem Stoße und senkt sich nach dem Stoße, desto größer also ist der rechnungsmäßige Bettungsdruck, desto geringer aber anderseits, wenigstens bei langsamer Fahrt, die unelastische Schlagwirkung.
6. Bestimmte Beziehungen zwischen der Fahrgeschwindigkeit und der größten Gleissenkung nach dem Stoße konnten nicht beobachtet werden. Zum Teil war die Senkung bei langsamer Fahrt größer als bei schneller (Abb. 6, 2), zum Teil geringer.

Bei all diesen Wechselwirkungen spielt neben der Fahrgeschwindigkeit die Form des Stoßknickes die Hauptrolle, wobei es weniger auf die Knicktiefe ankommt, als auf die Rampenneigung, die ja für die plötzliche Geschwindigkeitsänderung der Massen maßgebend ist. Aber gerade in den niedrigen Knicken sind die Rampen meistens steiler ausgebildet als in tief ausgefahrenen Schienenstößen. Bei schneller Fahrt und in steilen Stoßknicken wird verhältnismäßig viel Arbeit in dem unelastischen Schlag aufgebraucht, wenig in elastische Formänderung des Gleises umgesetzt. Die größte beobachtete unelastische Schlagwirkung betrug 7,0 kg/m/s. Dieselbe Wirkung würde entstehen, wenn ein Rad von 550 kg aus 13 mm Höhe frei auf das festgelagerte Schienenende herabfällt, oder unter dem Federdruck aus 1,3 mm Höhe, eine an sich geringe Einzelleistung, die erst Wert gewinnt durch die außerordentlich häufige Wiederholung.

Ähnliche Schlagwirkungen wie in den Stoßknicken werden durch unrunde Räder erzeugt. Die unrunde Form entsteht entweder durch Ungleichheiten in der gewöhnlichen Abnutzung am Radumfang, die nach Jahn bis 7 mm betragen*), oder durch Abschleifen festgebremster Räder auf den Schienen. Ist d (Abb. 9) die Tiefe des Abschliffes, a die zugehörige Sehne, so entsteht die gleiche Schlagwirkung, als wenn ein Stoßknick von der Länge a und der Tiefe d durchfahren wird. Solche Knicke, wie sie in Abb. 9 in gleichem Maßstabe mit den Stoßknicken Abb. 5 bis 7 dargestellt sind, zeichnen sich durch außerordentlich steile Rampen aus, ein Zeichen, daß die Angriffe selbst wenig abgeschliffener Räder weit heftiger sind als die Angriffe in gewöhnlichen Stoßknicken, daß aber tiefe Abschliffe, die von Saller sogar bis 20 mm beobachtet wurden, gewaltsame Zerstörungen im Gleise zur Folge haben müssen. Unrunde Räder.

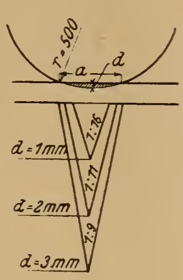


Abb. 9. Unrundes Rad.

Um die Form der Stoßknicke zu erklären, muß auf ihren ersten Ursprung zurückgegriffen und geprüft werden, welche Kräfte schon im neuen Gleise diese eigentümlichen Formänderungen einleiten. Zahlreiche Aufmessungen ergeben, daß an allen stumpfen Stößen alsbald die Knickbildung beginnt, daß sie also nicht von Zufälligkeiten abhängig, sondern dem stumpfen ungeschützten Stoß eigen ist, worauf schon ein äußerliches Kennzeichen hindeutet, die hellklingenden Schläge, die sich sehr bald Stoß für Stoß im neuen Gleise einstellen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der geschwächten Widerstandsfähigkeit der Schienenenden und in den vergrößerten Kraftangriffen an diesen Stellen. Schon an der vollen Schiene bleibt bei dem hohen Einheitsdruck der kurzen Stützfläche des Rades die Schienenoberfläche nicht frei von Verdrückungen, um so weniger an den Schienenenden, die nur einseitigen stofflichen Zusammenhang besitzen, in ihrer Widerstandsfähigkeit daher um mehr als die Hälfte geschwächt sind. Dazu treten die schlagartigen Angriffe an den Stoßstufen und Stoßlücken, die überall auch im neuen Gleise erscheinen. Entstehung der Stoßknicke.

Der Anlauf gegen eine Stoßstufe ist gleichbedeutend mit dem Anlauf gegen eine steigende Rampe mit dem Neigungsverhältnis $\operatorname{tg}\alpha$ Abb. 10. Für kleine $<\alpha$ ist dieses Neigungsverhältnis gleich zu setzen $l : r$ und $l^2 = 2\,h\,r$. Daraus ergibt sich z. B. für $r = 500$ mm, Stufenhöhe $h = 1$ mm die Rampenneigung bereits zu $1 : 16$, also bedeutend steiler als in den Stoßknicken. Der Angriff ist aber um so wirksamer, als er lediglich die wenig widerstandsfähige äußerste Schienenkante trifft. Die Stoßstufen erscheinen nun entweder in starrer, unnachgiebiger Form, und zwar bei durchaus starrer Verbindung, aber ungleichen Höhen der gestoßenen Schienen, oder in nachgiebiger, elastischer Form bei nicht starrer Verbindung. Die festen Stoß- Stoßstufen.

*) Organ 1914 S. 333.

stufen verhalten sich je nach der Fahrtrichtung verschieden. Beim Anlauf gegen das hohe Schienenende ist das Rad bestrebt, die Stufe abzuflachen und dadurch die Schlagwirkung zu verringern, während es beim Aufschlag auf das niedrige Ende die Stufe vergrößert und die Schlagwirkung vermehrt. Die letztere Wirkung tritt in vollem Maße bei doppelgleisigem Betriebe hervor, während der eingleisige Betrieb auf allmählichen Ausgleich der Stufe hinwirkt. Für die Schlagwirkung kommt bei fester Stufe die ganze Masse des festverbundenen Gleises als Widerstand in Betracht. Anders bei elastischer Stufe, in welcher zunächst nur die kleinere Masse der nachgiebigen Schiene in Anspruch genommen wird. Dadurch wird ein größerer Teil der Stoßkraft in elastische Formänderung umgesetzt, die Schlagwirkung an der Schienenoberfläche aber ermäßigt. Dagegen werden die Schienenstützflächen stärker beansprucht, wenn sie dem freien Anschlag der federnden Schiene voll ausgesetzt bleiben.

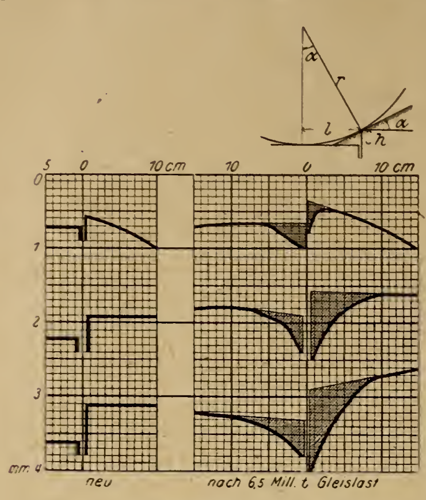


Abb. 10. Verschleiß an Stoßstufen in eingleisigem Betriebe.

In Abb. 10 ist die Abnutzung der Schienenenden an einer Gruppe von Schienenstößen mit Stoßstufen aus eingleisiger Strecke mit Holzschwellen in Kiesbett dargestellt. Die gestrichelten Flächen bezeichnen den Verschleiß durch eine Verkehrslast von 6,5 Millionen Tonnen und lassen den Einfluß der Stufenhöhe auf die Größe des Verschleißes sowie den allmählichen Ausgleich der Stufe erkennen*).

Stoßlücken. Den Einfluß der Stoßlücken auf die Ausbildung der Stoßknicke veranschaulicht Abb. 11 an einer Gruppe neuer, von Stufenbildung freier schwebender Stöße in eingleisigem Betriebe nach einer Verkehrsbelastung von 1,5 Millionen Tonnen. Die einzelnen Bilder sind nach den Weiten der Stoßlücken geordnet, die auf Grund wiederholter Messungen neben den Bildern verzeichnet sind. Schon nach dieser geringen Belastung macht sich der schädliche Einfluß weiter Stoßlücken in hohem Maße bemerkbar, aber auch an den engen Stoßlücken erscheinen deutliche Anfänge der Stoßknicke. Die Kraftangriffe in der Stoßlücke sind nach Abb. 11 wie beim Durchfahren eines Stoßknickes mit beiderseitigen Rampenneigungen $\operatorname{tg}\alpha = {}^1/_2\, a : r$, wenn a die Weite der Stoßlücke bezeichnet. Für $a = 10$ mm, $r = 500$ mm ist $\operatorname{tg}\alpha = 1 : 100$, für den ganzen Knick-winkel also $\operatorname{tg} 2\,\alpha = 1 : 50$. Das sind Werte, die keineswegs gering einzuschätzen sind und die schädliche schnelle

*) Vgl. auch Zeitschr. f. Bauwesen 1893, S. 445.

Wirkung selbst mäßiger Stoßlücken voll erklären. Im eingleisigen Betriebe entstehen zunächst, solange das Rad nur die äußersten Stirnkanten trifft, steile Schlagstellen, die sich mit der Zeit abflachen und vertiefen, während der Hauptangriff des Rades mehr und mehr von der Stoßlücke abrückt, bis schließlich die äußersten Enden überhaupt nicht mehr vom Rade getroffen werden, die Stoßlücken also außer Wirkung treten. Ungünstiger entwickeln sich die unsymmetrischen Stoßknicke bei doppelgleisigem Betriebe an den fallenden Stoßstufen, deren eigentümliche Form in Abb. 12 an einigen sehr abgenutzten Stößen eines 15 Jahre alten Gleises mit Holzschwellen, Flachlaschen und schwebendem Stoß auf Kiesbettung besonders auffällig hervortritt. Zu den ersten Anfängen der Stoßknicke, die sich in Abnutzen und Verdrücken der Schienenoberfläche äußern, gesellen sich im weiteren Verlauf fortschreitend Verbiegungen der Schienenenden als Folge von Überlastung durch den Schlag der Räder und von Abnutzungen an den Laschenstützflächen.

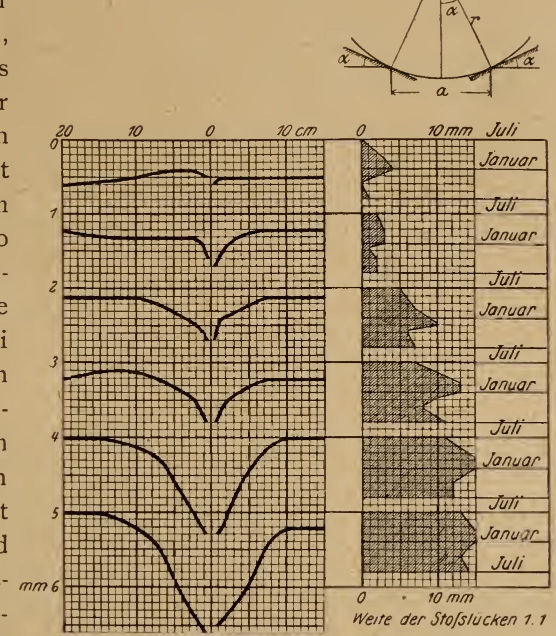


Abb. 11. **Stoßknicke in eingleisigem Betriebe, nach 1,5 Mill. t Gleislast.**

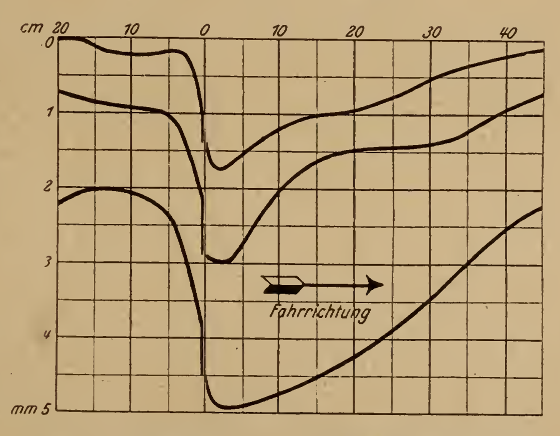


Abb. 12. **Stoßknicke in zweigleisigem Betriebe.**

Formänderungen der Laschen.

In engem Zusammenhange mit den Angriffen an den Schienenenden steht die Formänderung der Stützlaschen. Sie verläuft im eingleisigen Betriebe im allgemeinen symmetrisch zur Mitte, ist aber im zweigleisigen Betriebe überwiegend unter der Anlaufschiene ausgebildet, wie die schematische Darstellung, Abb. 13, für schwebenden Stoß andeutet. In die abgenutzten Stellen der Stützflächen legen sich die Schienenköpfe häufig auch in der Ruhelage voll ein, wenn die Stoßschwellen nachgeben oder wenn die Schienenenden bereits verbogen sind. Den starken Druckstellen und Ab-

nutzungen an den oberen Stützflächen der Laschen entsprechen in der Regel weniger gedrückte oder druckfreie Stellen an den unteren Stützflächen und umgekehrt. Diese wechselseitige Abnutzung gestattet kein wirksames Nachspannen der Laschen, entzieht daher die Laschen ihrer Hauptaufgabe, dem Schienenstrang an der Unterbrechungsstelle die Tragfähigkeit und Stetigkeit der vollen Schiene zu geben. Aber auch die lückenlos anliegenden und fest verspannten Laschen des schwebenden Stoßes können dieser Aufgabe nicht voll gerecht werden. Denn sie müßten imstande sein, die in den belasteten Schienenenden auftretenden wagerechten Schubspannungen an den Stützflächen aufzunehmen. Diese Schubspannungen steigen an jeder der vier Laschenstützflächen eines Schienenendes rechnungsmäßig bis auf 5000 kg. Sie können nur durch Reibungswiderstände an den Stützflächen übertragen werden, erfordern daher bei einer Reibungsziffer 1 : 3 an allen vier Stützflächen einen gesamten Laschendruck von etwa $3 \cdot 4 \cdot 5000 =$ 60 000 kg für jedes Schienenende, einen Druck, der weder durch die Betriebslast hervorgebracht wird, noch durch verstärkte Laschenspannung erzwungen werden kann, ohne die Dehnungsfreiheit der Schienen zu vernichten. Die Laschen werden um so günstiger beansprucht, die Biegespannungen und Laschendrücke um so geringer, und die Schienenenden um so weniger auf die Unterstützung durch Laschen angewiesen, je dichter die Schwellen im Bereiche der Laschen liegen.

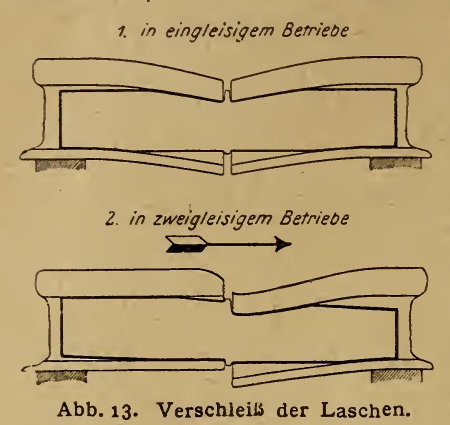


Abb. 13. Verschleiß der Laschen.

Formänderungen der Schienen.

Dauernde Verbiegungen der Schienen treten nicht nur an den Stößen ein, sondern erstrecken sich auch über die volle Schienenlänge. Die auffälligsten Erscheinungen dieser Art sind die sogenannten Schweinsrücken, Wölbungen der ganzen Schiene nach oben, fast nur an kurzen Schienen zu beobachten. Man hat ihre Ursache darin gesucht, daß unter dem starken örtlichen Druck im Verein mit den Gleitbewegungen des Rades die oberen Kopffasern der Schiene sich strecken und der ganzen Schiene eine nach oben gewölbte Form aufzwingen. Anderseits wird angenommen, daß sie von den Einsenkungen der stark beanspruchten Stöße ausgehen und sich von dort über die ganze Schiene fortpflanzen. Es mögen beide Ursachen zusammenwirken. Aber auch andere Einflüsse, die aus der Bauart des Gleises und der Widerstandsfähigkeit der Bettung entspringen, scheinen im Spiele zu sein. Denn keineswegs werden die Schienen regelmäßig nach oben verbogen, sondern ebenso häufig nach unten, namentlich lange Schienen.

Bei ihrer gebundenen Lage im Gleise wird nun zwar die Schiene gehindert, ihre gekrümmte Grundform voll zur Geltung zu bringen, sie kann

aber bei vorgeschrittener Formänderung auch nicht durch Unterstopfen des Gleises in eine voll gestreckte Lage gezwungen werden, nimmt vielmehr eine Form an, die zwar im ganzen gestreckter ist als die Grundform, im einzelnen aber deren Eigentümlichkeiten beibehält. Dabei bemüht sie sich, nach und nach der Grundform näher zu kommen, was ihr durch geringe eigene Länge und nachgiebige Bettung erleichtert wird. Diese Vorgänge wurden Jahre lang durch wiederholte Messungen sowohl der Grundform der Schienen als ihrer gebundenen Lage im Gleise genauer verfolgt*). Um zunächst die spannungslose Grundform einer Schiene zu ermitteln, wurde sie an ihren Enden frei gelagert und mit einer stark belasteten Seidenschnur überspannt (Abb. 14, 1). Nachdem die durchgebogene Schiene von der Schnur aus gegen die Kopffläche aufgemessen war, wurde sie nebst der Schnur umgedreht und in gleicher Weise von unten aufgemessen (Abb. 14, 2). Wird nun nach Abb. 14, 3 die zweite Aufmessung umgekehrt so über die erste gelegt, daß beide an den Enden zusammenfallen, so ist die Mittellinie zwizchen beiden die wirkliche Grundform der Schiene. Der Durchschlag der Schnur, der übrigens auf 9 m Länge nur 0,5 mm betrug, wird bei diesem Verfahren von selbst ausgeschaltet, muß aber beim Aufmessen im Gleise, das ja nur von oben geschehen kann, berücksichtigt werden.

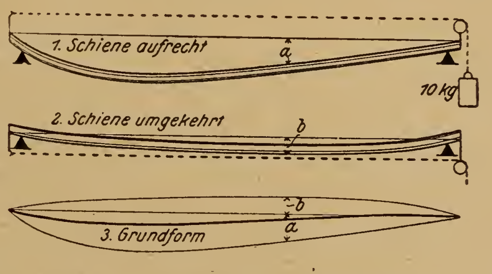


Abb. 14. Grundform der Schienen.

Abb. 15 zeigt die Änderung der Grundform an zwei 15 m langen Blattstoßschienen auf Holzschwellen nach einer Gleisbelastung von 18 Millionen Tonnen. In Abb. 16 ist über der Grundform einer 9 m langen, 12 Jahre alten Schiene die allmähliche Änderung ihrer Form im Gleise dargestellt. Die Schiene lag auf leichten eisernen Schwellen in Kiesbettung und hatte nach der kurzen Zeit von vier Monaten seit dem letzten Anstopfen ihre Grundform in der Linie IV nahezu wieder erreicht, um dann bei weiterem Sinken in Linie V diese Form beizubehalten. Auch konnte an ihr in der Zeit von 16 Monaten schon eine merkliche Änderung der Grundform festgestellt werden. Wenn nun so auffällige Erscheinungen auch nur in schlecht unterstütztem Gleise beobachtet wurden, so war doch überall zu erkennen, wie

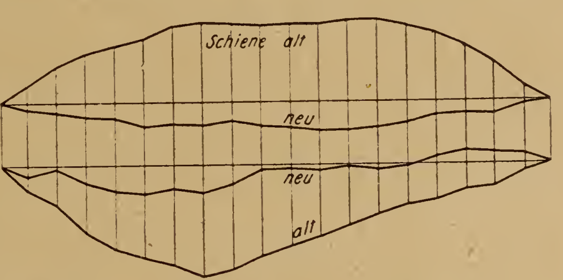


Abb. 15. Änderung der Grundform von Schienen. Länge 1 : 200, Höhen 1 : 1.

*) Näheres: Zeitschr. f. Bauwesen 1896 S. 546.

die Schienen bestrebt sind, ihre wirkliche Form immer wieder herauszukehren. Als größtes Maß der Verbiegung, welche die Grundform der Schienen im Laufe der Zeit erlitt, wurde nach Abzug der eigentlichen Stoßknicke 16 mm beobachtet. An alten Langschwellengleisen mit versetztem Schienen- und Schwellenstoß wurde die eigentümliche Erscheinung festgestellt, daß die Schienen in ihrer Grundform durchweg nach oben gewölbt waren, die Langschwellen meistens nach unten.

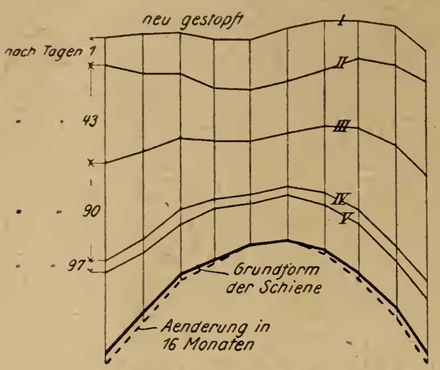


Abb. 16. Form der Schiene im Gleise. Längen 1 : 200, Höhen 1 : 1.

Die langgestreckten Verbiegungen der Schienen und ihre wellenförmige Lage im Gleise sind nun von viel größerem Einfluß auf die Bewegung der Fahrzeuge als die kurzen Knicke an den Stößen. Denn auch das abgefederte Obergestell gewinnt Zeit, den Unebenheiten des Gleises zu folgen und in Schwingungen zu geraten. Bekannt sind in Gleisen mit ausgeprägten Schweinsrücken die heftigen senkrechten Schwingungen, die ihren Höhepunkt erreichen, wenn die volle Schwingung des Obergestells mit der Schienenlänge zusammenfällt. Aber auch die gegenseitige Höhenlage eines Schienenpaares kann durch die verschiedenartige Ausbildung ihrer Grundformen in dem Maße gestört werden, daß sehr merkbare Seitenschwankungen in den Fahrzeugen entstehen. Die Schiene wird zwar um so mehr gestreckt, je länger und je biegsamer sie ist, je schwerer die Unterschwellung und je fester der Anschluß an den Schwellen, doch selbst die schwerste Unterschwellung ist nicht imstande, alle Unebenheiten der Schiene im einzelnen auszugleichen.

Riffelbildungen. Eine weitere eigentümliche Art von Angriffen an den Fahrflächen der Schienen verkörpert sich in den Riffelbildungen, ziemlich regelmäßigen Wellenlinien von etwa 4 bis 10 cm und größeren Wellenlängen (Abb. 17). Sie erscheinen sehr häufig und stark ausgebildet in festeingebauten Straßenbahngleisen, ebenfalls häufig, aber wenig ausgeprägt in offenen Eisenbahngleisen, auch nicht durchweg an allen Schienen eines Streckenabschnittes, sondern an einzelnen Schienen gleichen Ursprunges, während Schienen anderen Ursprunges riffelfrei bleiben. Sie sollen in verstärktem Maße auftreten bei geringem Raddurchmesser, also hohem Einheitsdruck unter dem Rade, und bei großer Fahrgeschwindigkeit. Auch an ganz neuen Schienen wurden Anlagen zu Riffelerscheinungen gefunden, die sich nach kurzem Befahren zu wirklichen Riffeln ausbildeten. Man sucht den ersten Anlaß in fehlerhaftem Walzverfahren, örtlichem gewaltsamen Zusammenpressen und Anstauen des Stoffes bei nicht genügender Walzwärme, so daß härtere Stellen

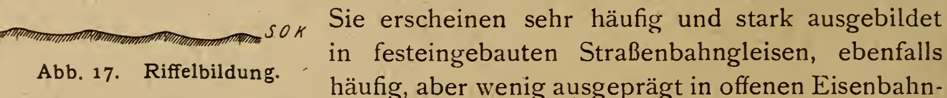


Abb. 17. Riffelbildung.

mit weicheren, leichter dem Verschleiß unterliegenden Stellen wechseln. Anderseits werden als Ursachen Stoffverschiebungen unter der rollenden und gleitenden Radlast oder periodischer Wechsel des Raddruckes, namentlich bei elektrischem Antrieb, angesehen. Meyer*) findet durch eingehende Beobachtungen die Hauptursache in den kurzen schnellen Schwingungen hartgelagerter Schienen, fordert daher auch für festeingebaute Gleise ein gewisses Maß von Elastizität in der Schienenlagerung, empfiehlt ferner harten Stahl für den Schienenkopf, weicheren für Steg und Fuß und einwandfreies Auswalzen der Schienen. In den offenen elastischen Eisenbahngleisen haben die Riffelbildungen zu keinen so weit gehenden Mißständen geführt, daß andere Maßregeln als durchaus fehlerfreies Walzverfahren bisher notwendig geworden wären.

Seitenangriffe, Schlingern.

Neben den senkrechten Radlasten erscheinen als Angriffskräfte zweiter Ordnung verschiedenartige seitliche Kraftäußerungen, die entweder als wirkliche Querbewegungen der Fahrzeuge oder als Reibungswiderstände zwischen Rad und Schiene in die Erscheinung treten. Von den Wirkungen der Fliehkraft in Gleisbögen wird später die Rede sein. Unregelmäßige kurze Querstöße entspringen meistens aus mangelhaftem Zustande des Gleises. Ihre Wirkung im Gleise ist um so geringer, je leichter das nicht abgefederte Radgestell und je höher die Schwerpunktlage des Fahrzeuges. Querbewegungen bestimmterer Art treten auf in dem Schlingern der Fahrzeuge, seitlichen Schwingungen, meistens verbunden mit Pendelbewegungen um eine senkrechte Achse. Ihre Ursachen sind verwickelter Art und dürften hauptsächlich zu suchen sein in der wechselnden Wirkung der Antriebe, auch der ungleichmäßigen Spannung in der Zugstange, in der Kegelform der Räder und in Unebenheiten der Gleislage**). Sie erscheinen namentlich in längeren geraden Strecken als periodische Bewegungen, die bis zu einem gewissen Grade zunehmen, dann aussetzen, um eine neue Schwingungsperiode zu beginnen, ähnlich den senkrechten Schwingungen in Gleisen mit Schweinsrücken. Die Schlingerbewegungen sind um so heftiger, je größer die Fahrgeschwindigkeit, je kleiner der Achsstand des Fahrzeuges und je größer die über den Achsstand hinausragende Masse des Fahrzeuges ist. Auch durch die Art der Federung werden sie stark beeinflußt. Bei unzweckmäßiger Bauart können sie sich bis zur Gefahr des Entgleisens steigern, zumal wenn auch die Schienen bei mangelhaftem Lager an den Schwingungen teilnehmen können. Doch ist seit dem Gebrauch langer Radstände, namentlich in Verbindung mit weit nach außen geschobenen Drehgestellen an Lokomotiven und Wagen, zweckmäßiger Federung, verbesserter Gleislage eine solche Gefahr auch bei schnellster Fahrt so gut wie ausgeschlossen.

*) A. Meyer: Zur Klärung bedeutsamer Fragen im Straßenbahn-Oberbau. 1915. — Vgl. auch Verkehrst. Woche 1910 S. 50.

**) Näheres: H. Nordmann, Glasers Ann. 1912 S. 20. — Weddigen, desgl. 1913 S. 11.

Reibungswiderstände in gerader Strecke.

Reibungswiderstände zwischen Rad und Schiene entstehen schon bei durchaus ruhiger Fahrt auf gerader Strecke, denn jedes der beiden Räder einer Achse hat bei seiner Kegelform das Bestreben, auf der Schienenoberfläche nach außen abzurollen (Abb. 18). Da es aber hieran durch seine starre Verbindung mit der Achse verhindert ist, sucht es umgekehrt, die Schiene vor sich nach innen zu drehen mit einem Drehmoment, das dem Reibungswiderstand von Rad auf Schiene entspricht, und das um so geringer wird, je schmaler die Lauffläche auf der Schiene ist. Es beträgt für eine Radlast von 5000 kg, Breite der Lauffläche von 4 cm und Reibungsziffer 1 : 4 etwa 13 m/kg. Dabei entstehen Schleifbewegungen a (Abb. 18) zwischen Rad und Schiene, die einem Schleifwege von 3,1 mm für eine volle Radumdrehung gleichkommen. Etwa ebenso große Schleifwege entstehen, wenn ein Radsatz durch irgendwelche Kraftwirkungen, wie sie auch in geradem Gleise bei schneller Fahrt oft auftreten, gezwungen wird, längere Strecken scharf an der einen Schiene zu laufen, also auf ungleichen Durchmessern abzurollen. Bei scharfem Anlehnen an die Schiene stützt sich aber das Rad hauptsächlich mit der Hohlkehle auf die innere Rundung des Schienenkopfes, verschiebt also die Stützlinie der Schiene nach innen. Auch durch ihre Schrägstellung nach innen wird die Schiene wahrscheinlich mehr an ihrer inneren Hälfte belastet, denn es ist anzunehmen, daß der Raddruck nicht senkrecht zur Kegelfläche des Rades in der Richtung der schräg gestellten Schienenachse übertragen wird, sondern wegen der Reibung zwischen Rad und Schiene mehr lotrecht verläuft. Wie auch die Erfahrung lehrt, überwiegt also im geraden Gleise im allgemeinen der Druck an der inneren Schienenseite und gibt der Schiene selbst ein hohes Maß von Standsicherheit gegen Kippen nach außen. Da auch die Kegelform der Räder günstig in diesem Sinne wirkt, so verdankt sie vielleicht, wenigstens zum Teil, diesem Umstande ihre Entstehung, neben der Absicht, Gleitbewegungen zwischen Rad und Schiene nach Möglichkeit zu vermeiden. Indessen ist der Wert der Kegelräder praktisch nicht einwandfrei dargetan, denn auch die zylindrische Radform mit senkrechter Schienenstellung ist, namentlich auf amerikanischen Bahnen, nicht selten im Gebrauch.

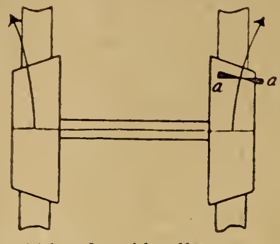


Abb. 18. Abrollen von Kegelrädern.

Reibungswiderstände in Gleisbögen.

In Gleiskrümmungen, in denen das äußere Rad stets einen größeren Weg zurücklegen muß als das innere, können die kegelförmigen Räder bei genügend großem Gleishalbmesser sich dauernd so einstellen, daß sie abrollen, ohne zu gleiten. Bei den in Deutschland üblichen Spurweiten und der Kegelneigung 1 : 20 ist das nur in sehr flachen Bögen möglich, für Raddurchmesser von 1 m erst in Bögen von mehr als 1500 m Halbmesser. In stärkeren Krümmungen muß das eine Rad schleifen. Dabei eilt das innere Rad vor und drückt den Spurkranz des äußeren Rades gegen die Außenschiene mit einer

Kraft, die dem seitlichen Gleitwiderstande auf der Innenschiene gleichkommt. Die Lage der Achsen zum Gleise wird ferner beeinflußt durch die Längsspannung in der Zugstange, vor allem aber durch den Einbau der Achsen in ein festes Rahmenwerk oder durch starre Achskuppelungen, die nur parallele Achslagen gestatten. Unter den theoretischen Untersuchungen, welche diese verwickelten Vorgänge behandeln, sei auf die Ausführungen Boedeckers verwiesen, nach denen in einem festen Rahmenwerk die vordere Achse scharf gegen die Außenschiene drückt, während die hintere Achse mehr oder weniger stark nach der Innenschiene drängt, also eine Stellung einnimmt, die dem freien Abrollen der kegelförmigen Räder widerspricht. Der stärkste Seitendruck äußert sich am Spurkranz des äußeren Vorderrades und beträgt nach Boedecker für ältere dreiachsige Lokomotiven mit der Radlast P in den stärksten Krümmungen bis zu 0,6 P, nach Fuchs und Wöhler bis zu 0,67 P. Mit dem Seitendruck des gegen die Schiene anlaufenden Spurkranzes verbinden sich auch senkrechte Reibungswiderstände am inneren Schienenkopf, die den Spurkranz in seinem Bestreben, auf die Schiene zu steigen, unterstützen. Wird nun auch bei der neueren Bauart der Fahrzeuge mit Drehgestellen und zweckmäßiger Achsteilung der Seitendruck erheblich geringer, so muß doch mit außergewöhnlichen Seitenstößen, etwa durch Unebenheiten im Gleise, und mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß in sehr scharfen, schnell durchfahrenen Bögen der Spurkranz mit seiner schrägen Innenfläche tatsächlich auf die Schiene steigt. Beim Einschätzen dieser Gefahr kommt der volle am Spurkranz wirkende Seitendruck in Frage, anders beim Einschätzen der Standsicherheit der Schiene. Das Rad nämlich, das bestrebt ist, auf der Schiene nach außen abzurollen, wird durch den Spurkranz gezwungen, auf dem Schienenkopf Gleitbewegungen quer nach innen, also entgegengesetzt dem Druck des Spurkranzes zu vollführen, die gleichwertig sind dem Reibungswiderstand von Rad auf Schiene, etwa 0,25 P (Abb. 19). Auf die Standsicherheit der Schiene wirkt daher nur der Druck des Spurkranzes vermindert um diesen Gegendruck, also etwa 0,6 P — 0,25 P = 0,35 P. Dabei läuft das Rad mit der Hohlkehle auf dem inneren Teil des Schienenkopfes, verschiebt die Stützlinie der Schiene etwa in die Lage a—b Abb. 19, wirkt daher, entgegengesetzt den nach außen gerichteten Kippkräften, weiterhin günstig auf die Standsicherheit der Schiene. Berührt das Rad die Schiene nicht mit dem Spurkranz oder der Hohlkehle, so kann es nur Seitendrücke auf die Schiene übertragen, die höchstens dem Gleitwiderstande zwischen diesem Rade und der Schiene gleichkommen, also mit etwa 0,25 P. Sie treten regelmäßig auf unter dem Innenrade der Vorderachse mit dem Bestreben, die Innenschiene nach außen zu drücken. Da hier die Radlast mitten auf der Schiene ruht, so wird die Drucklinie nach der äußeren Fuß-

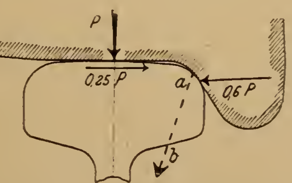


Abb. 19. Seitendruck an der Außenschiene, 1 : 3.

kante der Schiene zu abgelenkt. Beginnt nun aber eine Schiene, sich nach der Seite zu neigen, so wandert der Lastangriff am Kopf nach entgegengesetzter Richtung, wirkt also von selbst dem weiteren Kippen entgegen.

Standsicherheit der Schienen.

Um eine Probe auf die wirkliche Standsicherheit der Schienen zu machen*), wurde in einem Bogen von 750 m bei 70 mm Überhöhung die Befestigung der einen Schiene auf fünf benachbarten eisernen Schwellen gelöst und auf der mittleren Schwelle ein dünner Stahlblechstreifen m (Abb. 20, 1) unter die Schiene, ferner ein schmaler Bleistreifen n unter die freischwebende Kante des Schienenfußes gelegt. Durch seitliches Verschieben des Stahlbleches wurde sodann die Lage ermittelt, bei welcher die Schiene unter dem Zuge überkippte, was durch Breitdrücken des Bleistreifens zur Erscheinung kam.

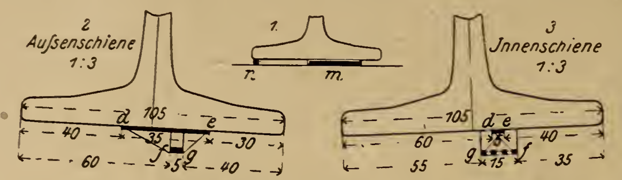


Abb. 20. Standsicherheit der Schienen im Bogen von 750 mm.

Die Versuche, welche unter etwa 50 Zügen mit Fahrgeschwindigkeiten von 30 bis 85 km angestellt wurden, führten zu den in Abb. 20, 2 und 3 dargestellten Ergebnissen. Die Stützpunkte d und e Abb. 20, 2 bezeichnen die Stellen, an denen die Außenschiene begann, sich nach außen oder innen zu neigen, die Punkte f und g die Stellen, an denen sie voll überkippte und den Bleistreifen breitdrückte. Die kurze in der inneren Schienenhälfte gelegene Stützfläche fg genügte also, die Außenschiene vor Überkippen zu bewahren. An der Innenschiene Abb. 20, 3 genügte hierzu schon ein einziger Stützpunkt, und zwar irgendein Punkt der Linie f g in der äußeren Schienenhälfte, während die kurze Stützfläche d e ausreichte, auch geringe Neigungen der Schiene zu verhüten, ein Zeichen der großen Gleichmäßigkeit, mit welcher der Seitenschub an der Innenschiene auftritt.

Im Zusammenhang mit diesen Versuchen wurden durch umfangreiche Messungen auch die seitlichen Bewegungen festgelagerter Schienen in verschiedenen Krümmungen beobachtet**). Dazu diente eine zu diesem Zwecke gefertigte, dem verstellbaren Spurmaß ähnliche Vorrichtung, die selbsttätig durch Schieber die größten Seitenausschläge beider Schienen nach jeder Richtung und die größten Spuränderungen bei Überfahrt der Züge angab. In der geraden Strecke waren die Bewegungen der Schienen nach innen und außen ziemlich gleichwertig und selten größer als 1 mm, ebenso die Spuränderungen. Im Bogen von 1500 m mit 35 mm Überhöhung schwankte die Außenschiene bis je 2 mm nach innen und nach außen, die Innenschiene bis 2 mm nach innen und 4 mm nach außen. Die Spurerweiterung während der Fahrt betrug bis 5 mm, während Spurverengungen nur selten und in ge-

*) Näheres: Zeitschr. f. Bauwesen 1892 S. 247.

**) Vgl. auch Waas, Glasers Ann. 1913 S. 166.

ringem Maße eintraten. In Bögen von 750 m mit 60 mm Überhöhung schwankte die Außenschiene ebenfalls ziemlich gleichmäßig bis 1,5 mm nach innen und außen, die Innenschiene bis 3,5 mm nach außen, nur selten um ein geringes nach innen. Die Spurerweiterungen betrugen bis 5 mm, Verengungen zeigten sich sehr selten bis 0,5 mm. In demselben Bogen, jedoch mit Gleisüberhöhung von nur 30 mm wurde die Außenschiene lediglich nach außen gedrückt bis 4 mm, nie nach innen, die Innenschiene ebenfalls nur nach außen bis 2,5 mm. Spurverengungen traten nicht ein, aber Erweiterungen bis 6 mm. Die Fahrgeschwindigkeiten, die zwischen 85 und 30 km wechselten, waren ohne merklichen Einfluß auf die Seitenbewegungen der Schienen. Spurmessungen gelegentlich der gewöhnlichen Gleisunterhaltung ergaben, daß neue Holzschwellengleise in gerader Strecke sich in der Regel verengen, in allen, selbst sehr flachen Bögen aber regelmäßig erweitern. Dabei halten die Stoßstellen mit ihrer dichteren Schwellenlage meistens bessere Spur als die übrigen Stellen.

Aus alledem darf geschlossen werden, daß im freien Betriebsgleise bei ordnungsmäßigem Gleiszustande, sicherem Schienenlager und angemessener Gleisüberhöhung die im Gleise wirkenden Querkräfte selbst in scharfen Bögen nicht ausreichen, die Standsicherheit der Breitfußschienen zu gefährden, daß sie dagegen in sehr scharfen Bögen unter besonders ungünstigen Umständen imstande sind, den Spurkranz auf die Außenschiene zu heben. Um dieser Gefahr vorzubeugen und den äußeren Schienenstrang von Seitendruck zu entlasten, werden in neuerer Zeit in Bögen von weniger als etwa 500 m Halbmesser längs des inneren Schienenstranges Leitschienen nach Abb. 21 angeordnet. Damit wird die Wirkung zwischen Rad und Schiene vollständig geändert. Alle Achsen werden gezwungen, sich in eine bestimmte Lage zur Innenschiene einzustellen, das äußere Rad sucht die Außenschiene durch Reibung nach innen zu ziehen, um auf größerem Durchmesser abrollen zu können, während umgekehrt die Innenschiene nach außen gedrängt wird. Der volle, nach der Außenseite des Bogens gerichtete Seitenschub muß allein von der Leitschiene aufgenommen werden. Da diese senkrecht nicht belastet ist, so überträgt sie den Schub, der bis auf 4000 kg geschätzt wird, ungeschwächt auf die Befestigungsmittel. Aus diesen ungünstigen Wirkungen erklären sich zur Genüge die großen Fahrwiderstände im Leitschienengleise und die Schwierigkeit, die Leitschiene in richtiger Lage zur Fahrschiene zu erhalten. Ihre Verwendung dürfte nur dort gerechtfertigt sein, wo die Gefahr des Entgleisens tatsächlich besteht, also in Bögen von weniger als etwa 350 m Halbmesser, nicht aber dort, wo es sich nur um Schutz der Außenschiene gegen seitlichen Verschleiß handelt. Denn der erzielte Gewinn würde durch größeren Verschleiß an andern Orten und durch größeren Kraft-

Leitschienen.

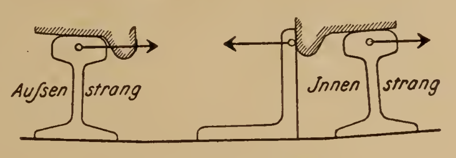


Abb. 21. Leitschiene.

verbrauch voll aufgehoben werden. In England werden Leitschienen erst in Bögen von 200 m Halbmesser und weniger verwendet.

Längsschub. Außer den Querkräften wirken an den Schienen Längskräfte in der Richtung des Gleises. Sie entstehen zum Teil aus denselben Ursachen wie jene, nämlich unvollkommenem Abrollen eines Räderpaares auf ungleichen oder der Gleiskrümmung nicht entsprechenden Durchmessern. Das voreilende Rad zieht die Schiene zurück, das zurückbleibende treibt sie vor mit einer Kraft, die sich bis zum Gleitwiderstand von Rad auf Schiene steigert. Ferner suchen die Triebräder das Gleis unter sich rückwärts zu verschieben mit einer Kraft, die dem gesamten Zugwiderstande gleichkommt. Entgegengesetzt, also vorwärts gerichtet, wirken im Gleise die Widerstände der Laufräder durch Reibung an den Schienen oder durch wagerechte Druck- und Stoßwirkungen im unebenen Gleise. Diese einander entgegengesetzt wirkenden Kraftäußerungen sind im allgemeinen nicht gleichwertig und heben sich nicht gegenseitig auf. Der rückwärts gerichtete Schub unter den Triebrädern überwiegt in wagerechten und steigenden Strecken, ebenso in Anfahrtstrecken, der Schub nach vorn in Gefälle- und Bremsstrecken. Dabei ist die Kraftäußerung der Triebräder wirkungsvoller als die der Laufräder, weil sie auf eine kurze Gleisstrecke, meistens eine einzige Schienenlänge, zusammengedrängt wird, während die Wirkung der Laufräder sich auf eine weite Gleisstrecke verteilt, an den einzelnen Schienen daher schwächer äußert.

Längsschübe anderer Art entstehen durch die Wellenbewegungen unter der rollenden Last, bei denen das vorliegende unbelastete Gleisstück nach vorn getrieben wird, sind indessen für kräftige, gut unterstützte Gleise von geringer Bedeutung. Einflußreicher sind die Längenänderungen der Schienen durch Wärmewechsel. Die Längsspannung in einer fest eingeklemmten Schiene durch Wärmewechsel ist aus der Wärmedehnungsziffer und aus der Elastizitätsziffer des Schienenstoffes bestimmbar. Werden diese Ziffern mit 12 : 1 000 000 für 1 Grad Wärmeunterschied und mit 2 000 000 kg/cm^2 eingesetzt, so ist die Spannung bei einem Wärmewechsel von 1 Grad für 1 cm^2 Schienenquerschnitt $12 \cdot 2\,000\,000 : 1\,000\,000 = 24$ kg, bei 40° Wärmewechsel 960 kg und für den ganzen etwa 50 cm^2 großen Schienenquerschnitt 48 000 kg. So hohe Spannungen übersteigen zwar nicht die Festigkeit des Schienenstoffes, sind aber nur zulässig, wenn das Schienengestänge gegen Ausknicken vollkommen gesichert ist, wie bei festeingebauten Straßengleisen. Im offenen Gleise sind nur bedeutend geringere Spannungen gestattet, die Schiene muß daher die Möglichkeit haben, die Wärmedehnung mit diesen geringeren Spannungen auszuführen, und dabei den nötigen Dehnungsraum vorfinden. Maßgebend für die Längsspannungen der Schienen ist in der Regel der Laschendruck. Sind die Laschenstützflächen mit 1 : 4 geneigt und die Laschen an jedem Schienenende durch zwei Schrauben mit je 1500 kg Spannung befestigt, so berechnet sich der gesamte Laschendruck an den

vier Stützflächen je eines Schienenendes auf 24 000 kg. Hiervon wirkt als Reibungswiderstand an glatten Berührungsflächen, gleichbedeutend mit der Längsspannung der Schiene, etwa der dritte Teil mit 8000 kg. Spannungen dieser Größe können nach der Erfahrung etwa als Grenzwerte betrachtet werden, um Gleisverwerfungen sicher zu verhüten. Übermäßige Spannungen können namentlich erwartet werden, wenn die Dehnungslücken durch Schienenwanderung in kalter Jahreszeit über eine längere Gleisstrecke schwinden, eine Gefahr, die besonders auf Strecken mit starken einseitigen Schubwirkungen, wie Bremsstrecken, vorliegt. Aber auch sonst dürfen keineswegs gleichmäßig weite Stoßlücken vorausgesetzt werden, weil die sehr verschiedenen Laschenspannungen die Schienendehnung an einem Stoße hindern, am andern fördern. Als Beispiel sind in Abb. 22 an zwölf aufeinander folgenden Stößen die Änderungen der Stoßlücken während eines Jahres

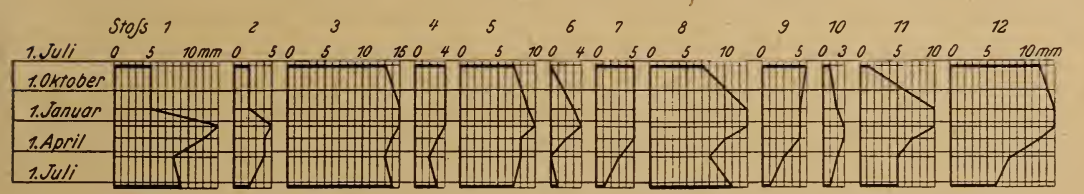


Abb. 22. Änderungen der Stoßlücken.

dargestellt. Die 12 m langen Schienen des Holzschwellengleises ruhten auf offenen Unterlagsplatten und waren mit zwei bis drei Schwellenschrauben ohne Klemmplatten befestigt. Das Neigungsverhältnis der Laschenstützflächen war 1 : 4. Aus den Darstellungen ist die außerordentlich große Verschiedenheit in der Weite und in der Beweglichkeit der einzelnen Lücken ohne weiteres ersichtlich. Sie ist ein Zeichen, daß die Schienen in ihren Befestigungen auf den Schwellen oder die Schwellen im Gleisbett nicht genügenden Widerstand fanden, um die ungleichen Laschenspannungen zu überwinden. Der Einfluß ungleicher Stoßlücken auf die Abnutzung der Schienen wurde in Abb. 11 veranschaulicht.

Alle im Gleise wirkenden Längsschübe führen schließlich zu ausgeprägten Schienen- und Gleiswanderungen. Ihre Ursachen sind so wechselreich, daß die Art der Verschiebung im voraus schwer zu bestimmen ist. Die Erfahrung lehrt, daß sie mit großer Kraftäußerung auftreten, daß die Bewegung der gegenüberliegenden Schienenstränge meistens ungleich groß ausfällt, und daß die Bewegungsrichtung zwar auf gewissen Strecken stetig ist, auf andern aber, namentlich bei eingleisigem Betriebe, wechselt. Die schädlichen Begleiterscheinungen des Wanderns sind übermäßiges Verengen oder Erweitern der Stoßlücken in größeren Gleisgruppen, schiefe Lage der Stöße und der Schwellen, Verschieben, Kanten und Lockern der Schwellen, Ändern der Schwellenabstände, schließlich seitliches Verdrücken des ganzen Gleises.

Verschleiß der Schienen.

Der Verschleiß, dem die Schienen durch die Angriffe ausgesetzt sind, erscheint entweder als Stoffverlust oder als Störung des stofflichen Zusammenhanges in Form von Verdrückungen, Rissen und Brüchen. Stoffverluste sind im wesentlichen auf die Reibungen zwischen Rad und Schiene zurückzuführen. Sie entstehen regelmäßig an der Lauffläche des Schienenkopfes derart, daß die Kopffläche in geraden Strecken ziemlich gleichmäßig abgearbeitet wird (Abb. 23, 1), an den Außenschienen der Krümmungen aber entsprechend der Form des anlaufenden Spurkranzes (Abb. 23, 3 und 4). Die Schienen der Abb. 23, 4 und 5 standen senkrecht im Gleise und wurden von zylindrischen Rädern befahren. Der Umfang des Verschleißes an den Schienenköpfen ist von der Härte des Schienenstahles abhängig. Abb. 23, 2 zeigt die Formänderung einer weichen Thomasschiene, bei der besonders der starke Verschleiß an den Laschenstützflächen auffällt, der sich bis an den Schienensteg heranzieht, die Stützwirkung der Lasche also nahezu aufhebt. Aber auch innerhalb gleichartiger Stahlsorten schwankt der Verschleiß in

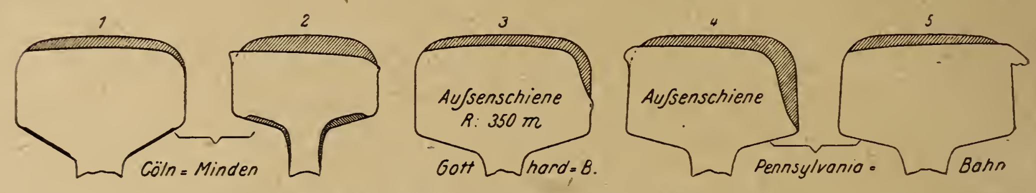


Abb. 23. Verschleiß an Schienen (nach Haarmann) 1 : 3.

außerordentlich weiten Grenzen. Dabei sind neben den örtlichen Eigentümlichkeiten des Betriebes und der Bauart der Fahrzeuge chemische und physikalische Eigenschaften des Stahles im Spiel, deren Einfluß noch nicht genügend aufgeklärt ist. Nach den statistischen Aufzeichnungen des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen für die Jahre 1906 bis 1909 betrug, unter Ausschalten einiger ganz außergewöhnlich abgenutzter Strecken, der Verschleiß im Schienenquerschnitt unter einer Verkehrslast von 1 Million Tonnen im geraden Gleise und in Krümmungen bis 1000 m:

1. am Bessemerstahl 0,30 bis 3,50 mm²,
2. am Martinstahl 0,30 „ 2,50 „
3. am Thomasstahl 0,30 „ 3,40 „

In Krümmungen von 500 bis 350 m war der Verschleiß im großen Durchschnitt etwa 65 % größer, dabei an den Außenschienen wiederum etwa 65 % größer als an den inneren. Auf der englischen Midlandbahn wurden Abnutzungen von 2,5 mm², auf der krümmungsreichen Gotthardbahn über 13 mm² durch 1 Million Tonnen beobachtet.

Verdrückungen entstehen an der vollen Schiene schon unter ruhig fahrender Last an weichem Schienenstoff durch den hohen Einheitsdruck der Räder. Ist der Zusammenhang des Schienenkopfes von vornherein durch eine Längsfuge unterbrochen, wie beim Blattstoß oder bei der zweiteiligen

senkrecht getrennten Schiene, so ist auch harter Stahl diesem Druck nicht gewachsen. Die scharfen Kanten der Fugen werden gewaltsam nach innen verdrückt, treiben den Kopf auseinander und lösen sich schließlich als dreieckige, keilförmige Splitter oder als längere Späne ab (Abb. 24). Eine andere Art von Verdrückung erscheint im Abschieben der Kopfhaut bei seitlichem Gleiten der Räder, namentlich an den Innenschienen der Bögen (Abb. 23, 5).

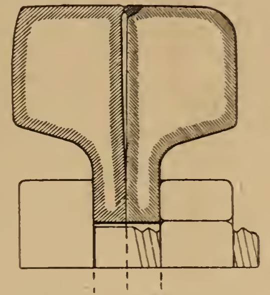


Abb. 24. Schwellenschiene Haarmann.

Alle diese Formänderungen zeigen sich in verstärktem Maße an den Schienenstößen, nach Haarmann etwa 12 % mehr als an den Schienenmitten. Sie führen nicht selten zu Spalten an den Stirnen der Schienenköpfe, auch am Schienenstege. Querrisse und Querbrüche entstehen meistens aus Überanstrengungen durch Stöße der Räder, schlechte Gleislage, gewaltsame Frostauftriebe und aus Sprödigkeit oder sonstigen Mängeln des Schienenstoffes. Sie sind in neuerer Zeit infolge der besseren Herstellungsweise der Schienen und der besseren Lage des Gleises erheblich seltener als früher. Andere schwerlich zu vermeidende Abnutzungen entstehen an den Schienen in Wechselwirkung mit den Laschen (vgl. Abb. 13 und 23, 2), sowohl unter dem Einfluß der Radlast als der Reibung bei Wärmewechsel. Der Verschleiß der Schienen an ihren Lagern und an den Befestigungsstellen läßt sich durch geeignete Befestigungsweise in unschädlichen Grenzen halten.

Kraftwirkungen an den Schwellen.

Die von den Schienen aufgenommenen Lastdrücke sind nun weiter auf die tiefer liegenden stützenden Teile des Gleises zu übertragen. Es ist versucht worden, Schienen von großen Abmessungen unmittelbar auf dem Gleisbett zu verlegen wie die einteilige Hartwig-Schiene und die zweiteilige Schwellenschiene von Haarmann, doch ohne Erfolg, weil sie dem Gleisbett keine ausreichende Stützfläche boten, die Erhaltung der Spur- und Höhenlage erschwerten und das Gleisbett unter sich derart zerstampften und verdichteten, daß der Wasserabfluß unterbunden wurde. Auch das Langschwellengleis, das als eine zweiteilige wagerecht getrennte Schiene aufzufassen ist, versagte hauptsächlich aus diesem Grunde, wurde daher im freien Eisenbahngleise fast ganz aufgegeben zugunsten des Querschwellenbaues, der die Möglichkeit gibt, durch enge Schwellenteilung die Stützfläche des Gleises in weitem Umfange zu vergrößern, der außerdem besser geeignet ist, die von den Schienen übertragenen Querkräfte in sich aufzunehmen, von der weniger widerstandsfähigen Bettung aber wirksam fernzuhalten.

Die Querschwelle wird von Zimmermann statisch als Träger berechnet, auf den als Angriffskräfte wirken die beiden gleichen symmetrischen (Statische Angriffe.)

Schienendrücke und entgegengesetzt die ungleich unter der Schwelle verteilten Bettungsdrücke. Diese letzteren stehen, unter Annahme vollkommener Elastizität des Bettungsstoffes und des Schwellenstoffes, in stets gleichem Verhältnis zur elastischen Einsenkung, entsprechen also in ihrem Verlauf der elastischen Linie der Schwelle. Sie sind um so ungleicher, je biegsamer die Schwellen. Unter der elastischen eisernen Kofferschwelle der üblichen Form ist rechnungsmäßig der größte Bettungsdruck 1,3mal so groß als unter der starren Holzschwelle. Von weiterem, wesentlichem Einfluß auf die Form der elastischen Linie ist die Länge der Schwelle. Abb. 25 zeigt, nach Zimmermann, in verzerrtem Maßstabe die elastischen Linien zweier eiserner Schwellen von 240 und 270 cm Länge und die Bettungsdrücke unter je 1 cm der Schwellenlänge bei 1000 kg Radlast. Zimmermann betrachtet diejenige Schwellenlänge als die günstigste, bei welcher der Bettungsdruck in der Schwellenmitte und an den Enden einander gleich ist, bei welcher also die Bettungsdrücke am meisten ausgeglichen sind, und findet hieraus für Vollspurgleise das Maß von 270 cm. Um gleiche Biegemomente unter der Schwellenmitte und unter den Schienen zu erhalten, würde der Schwelle eine Länge von 240 cm zu geben sein.

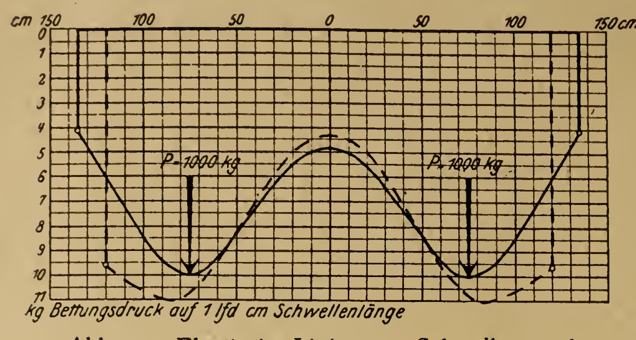


Abb. 25. Elastische Linien von Schwellen nach Zimmermann.

Dynamische Angriffe.

Der Druck der Schienen auf den Schwellen ist bei ruhender Last mäßig, beim Fehlen von Unterlagplatten etwa nur 30 kg/cm², daher für sich nicht imstande, selbst das Gefüge des Weichholzes anzugreifen, wohl aber wenn dynamische Angriffe hinzutreten, die stets zerstörend wirken, sobald sich die Schiene von ihrem Lager zu lösen und freie Bewegungen zu vollführen vermag. Nun müssen die in den Schienen stets auftretenden aufwärts gerichteten Spannungen und Rückschläge irgendwo eine Trennung im Aufbau des Gleises nach sich ziehen. Es entsteht daher die Frage, an welcher Stelle die unvermeidliche Trennungsfuge am unschädlichsten ist. Liegt sie zwischen Bettung und Schwelle, so entstehen durch die stampfenden Bewegungen der Schwelle vermehrte Angriffe auf den Untergrund, die sich durch stärkeres und ungleichmäßiges Nachgeben des Gleisbettes und durch schnelleren Verschleiß des Bettungsstoffes, auch der Schwellenunterfläche, bemerkbar machen. Die schnell und oft wiederholten Bewegungen der Schwellen saugen ferner in feinkörniger Bettung die Nässe aufwärts hindern das Austrocknen und verursachen die bekannten Schlammbildungen und Lockerungen im Gefüge des Gleisbettes. Liegt die Trennungsfuge zwischen

Schiene und Schwelle, so haben in erster Linie die Schienenlager, auch die Befestigungsmittel, die Schläge der stampfenden Schiene mit allen ihren schwankenden und gleitenden Bewegungen auszuhalten. Hierzu kommt, daß die leichtere freie Schiene viel umfangreichere Bewegungen ausführt als das schwere festverbundene Gleis. So wurden bei einer Reihe von Beobachtungen in einem festverbundenen Gleise mit eisernen Querschwellen Gleishebungen während der Fahrt von nicht mehr als 0,3 mm über der Ruhelage gefunden. Nach dem Lösen der Befestigungen hob sich die Schiene, ihrer natürlichen Form folgend, von den meisten Schwellen ab bis zur Höhe von 2 mm, hob sich dann während der Überfahrt bis auf weitere 2 mm, so daß Hohlräume zwischen Schiene und Schwelle bis 4 mm entstanden, die selbstredend zu heftigen Rückschlägen führen mußten. Je größer die festgefügte Masse des Gleises ist, je tiefer also die Trennungsfuge liegt, desto geringer ist der Spielraum, desto geringer auch die Schlagwirkung an der Trennungsfuge. Ob nun die feste oder die lose Verbindung zwischen Schiene und Schwelle den Vorzug verdient, hängt von den Mitteln ab, die gefunden werden, um die schädlichen Wirkungen der einen oder der anderen Verbindungsart zu mildern. Zugunsten der losen Verbindung sind beschränkte Spielräume oder elastische Zwischenlagen zwischen Schiene und Schwelle vorgeschlagen worden*), im allgemeinen aber wird der feste Anschluß bevorzugt, weil er Bau und Unterhaltung des Gleises einfacher gestaltet, starke Abnutzungen im Gleisgefüge verhütet und die Summe der Bewegungen im Gleise auf das geringste Maß beschränkt. Jedenfalls würde für jede lose Verbindung eine sichere, reibungslose Führung der beweglichen Teile vorausgesetzt werden müssen.

Eine Anschauung von dem Verhalten mehr oder weniger fest angeschlossener Schwellen gibt Abb. 26 an einigen dem Gleise entnommenen, etwa den Durchschnittszuständen kieferner Schwellen entsprechenden Beispielen. Die plattenlose genagelte Schiene Abb. 26, 1 und 2 hat vollständig Verschleiß an Holzschwellen.

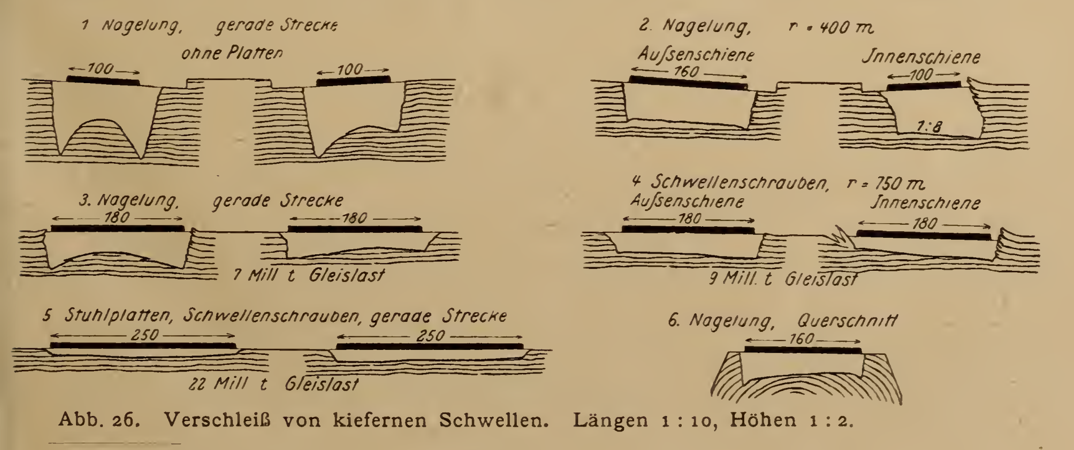


Abb. 26. Verschleiß von kiefernen Schwellen. Längen 1 : 10, Höhen 1 : 2.

*) G. Maas, Glasers Ann. 1917, S. 172.

freies Spiel auf der Schwelle, die schmale Lagerfläche arbeitet sich tief in das Holz ein, nimmt dabei unter den Seitenschwankungen und Seitendrücken der Schiene eine nach oben gewölbte oder eine geneigte Form an, die schließlich die Standsicherheit der Schiene gefährdet. Dasselbe Spiel wiederholt sich, wenn auch in geringerem Maße, bei Einfügen kurzer Unterlagplatten (Abb. 26, 3). Wesentlich eingeschränkt wird dagegen der Verschleiß der Holzschwelle im verschraubten Gleise, um so mehr, je fester die Schrauben schließen, bis er bei sehr kräftiger, stark verspannter Verschraubung fast ganz verschwindet (Abb. 26, 5). In folgender Zusammenstellung ist für verschiedene Arten des Lagers und der Befestigung der Umfang des Verschleißes an kiefernen Schwellen zahlenmäßig verzeichnet. Die Zahlen bedeuten den Verschleiß eines Lagers an kiefernen Schwellen in cm^3 nach Belastung des Gleises durch 1 Million Tonnen, ermittelt als Durchschnitt aus sämtlichen Schwellen eines vollen Schienensatzes. An eichenen Schwellen beschränkte sich der Verschleiß auf etwa den dritten Teil.

Zusammenstellung

des durchschnittlichen Verschleißes eines Schienenlagers auf kiefernen Schwellen durch 1 Million t Gleislast, bei eingleisigem Betriebe.

Lfd. Nr.	Befestigungsart	Abnutzungskörper Mittelschwelle cm^3	Abnutzungskörper Stoßschwelle cm^3
1	Platten 16 × 18 cm, 2 bis 3 Nägel	26,6	28,3
2	Platten 16 × 18 cm, 2 Schwellenschrauben	14,3	17,3
3	Hakenplatten 16 × 25,5 cm, 3 Schwellenschrauben	16,1	21,8
4	Hakenplatten 16 × 29 cm, 3 Schwellenschrauben	17,4	17,2
5	Verdübelung, 3 buchene Dübel mit Schwellenschrauben, Platten 16 × 20 cm	10,6	14,6
6	Gußeiserne Stuhlplatten, 18 × 32 cm, 4 Schwellenschrauben mit Federringen:		
	a) erster Beobachtungsabschnitt 9 Jahre	8,2	10,7
	b) zweiter „ „ 5 „	5,9	5,6
7	Gußeiserne Stuhlplatten wie vor, jedoch 18 × 25 cm, am Stoß 18 × 30 cm, 4 Schrauben besserer Form mit Federringen (vgl. Abb. 70, 1):		
	a) erster Beobachtungsabschnitt 8 Jahre	5,7	3,3
	b) zweiter „ „ 5 „	2,5	2,8

Bemerkenswert ist der sehr geringe Verschleiß unter Nr. 7 b der Zusammenstellung, der in senkrechter Richtung nur 0,05 mm durch 1 Million Tonnen betrug. Nennenswerte Unterschiede in der Größe des Verschleißes am Außen- und Innenstrang mäßiger Krümmungen wurden nicht gefunden, wohl aber im Neigungsverhältnis der Abnutzungsflächen. So war in einem Bogen von 750 m nach einer Verkehrslast von 9 Millionen Tonnen am Außenstrang fast durchweg eine Querneigung nach innen entstanden, die bis 1 : 56

betrug, am Innenstrang durchweg nach außen bis 1 : 53 (Abb. 26, 2 und 4). In der geraden Strecke war die Neigung durchweg nach innen gerichtet bis 1 : 30.

Einseitige Belastung.

Die schiefe Abnutzung der Lagerfläche deutet auf einseitige Belastung. Greift nach Abb. 27 eine Last in Entfernung e von der Mitte der Platte an, so verteilt sich der Druck der Platte trapezartig auf die Unterlage, und es entsteht zwischen den Enddrücken x und y die Beziehung:

$$1)\quad \frac{x}{y} = \frac{l + 6e}{l - 6e}.$$

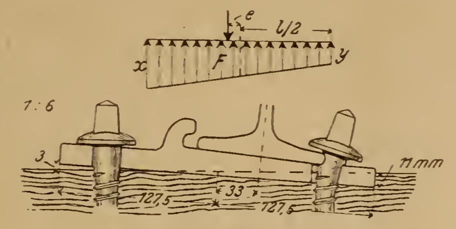


Abb. 27. Einseitige Belastung.

Dasselbe Verhältnis besteht für den Abnutzungsquerschnitt in der Annahme, daß die Tiefe der Abnutzung an jeder Stelle in geradem Verhältnis zum Drucke steht. Wie empfindlich die Lagerfläche schon gegen geringe Lastverschiebung ist, kann daraus ersehen werden, daß bei einer Plattenlänge $l = 18$ cm und Verschiebung $e = 1$ cm das Maß x bereits doppelt so groß ist als y, unter einer 12 cm breiten Schiene ohne Platte aber dreifach so groß. Das Verhältnis wird günstiger, wenn eine neue, gleichmäßig verteilte und dauernd wirkende Last hinzutritt, wie bei kräftigem Verspannen der Schienen mit den Schwellen durch die Befestigungsmittel.

Das Neigungsverhältnis der Lagerfläche wird ausgedrückt, wenn F den beobachteten Abnutzungsquerschnitt bedeutet, durch:

$$2)\quad \frac{x - y}{l} = \frac{12\,e\,F}{l^3},$$

steht also im umgekehrten Verhältnis zur dritten Potenz der Plattenlänge, woraus die außerordentlich günstige Wirkung breiter Platten erhellt. Aus Gleichung 2 ist nun, wenn die Abnutzungswerte x, y und F durch Messung festgestellt sind, die Entfernung e der Drucklinie von der Mittellinie zu finden. Sie schwankt nach der Beobachtung an flachen Platten in der geraden Strecke und im Außenstrange mäßiger Krümmungen zwischen 0 und 20 mm nach innen, im Innenstrange zwischen 0 und 20 mm nach außen. An 5 cm hohen Schienenstühlen in gerader Strecke erwies sich die Laststellung genau in der Plattenmitte als die günstigste. Zu wie schädlichen Folgen eine unzweckmäßige Belastung der Platte sowohl hinsichtlich der Schwellenabnutzung als der Spuränderung führen kann, mag an dem der Wirklichkeit entnommenen Beispiel Abb. 27 gezeigt werden.

Quer zur Schwelle sind die Abnutzungsflächen oft nach oben gewölbt, auch nach einer Richtung geneigt (Abb. 26, 6), eine Form, die sich hauptsächlich durch ungleichmäßige Unterstützung der Schwellen im Gleisbett und durch Längsschübe im Gleise herausbildet, weniger durch Wellenbewegungen der Schienen. Denn diese bewirken in mittelschwerem Oberbau

Neigungen von nur etwa 1:600, mithin Senkungen der Schwellenkanten, welche die Senkung der Schwellenmitte nur 0,2 mm übersteigen, die also ohne Schaden durch die Elastizität der Schwelle und des Gleisbettes aufgenommen werden können.

Der Verschleiß an der Lagerfläche wird erheblich gefördert durch Eindringen von Bettungsstoff, der sich namentlich unter den Rändern der Unterlagplatten lagert und hier oft rinnenartige Vertiefungen im Holz ausarbeitet. Durch die mechanischen Angriffe der Platten und des Bettungsstoffes erhalten die Lagerflächen, besonders der Weichholzschwellen, ein fasriges, polstriges Gefüge, die Stirnflächen der Abnutzungsstellen erscheinen gestaucht oder splittrig (Abb. 26, 1 bis 4). Je fester die Verbindung ist, desto mehr verschwindet diese Zerstörungsart, desto härter und glatter wird das Gefüge der Lagerflächen. Bei vollkommen schließender und unverschieblicher Verbindung findet überhaupt kein Verschleiß mehr statt, die Platten pressen sich vielmehr nur in das Holz ein, verdichten die oberen Holzschichten und vermehren ihre Widerstandsfähigkeit (Abb. 26, 5). Daraus ist auch das Ergebnis unter Nr. 6 und 7 der Zusammenstellung Seite 34 zu erklären, nach welchem die Platten während des zweiten Beobachtungsabschnittes unter gleicher Last erheblich weniger, zum Teil nur halb so tief eingepreßt wurden als während des ersten. Die Lagerflächen können also um so kleiner bemessen werden, je fester der Schienenanschluß ist.

Verschleiß an eisernen Schwellen.

Noch schädlicher wie an Holzschwellen wirken mechanische Angriffe der Schienen an Eisenschwellen der meistgebräuchlichen Kastenform. Die dünne Decke ist an sich schon wenig widerstandsfähig gegen äußere Angriffe, wird aber durch dauerndes Gleiten und Schlagen der Schienen leicht derartig geschwächt, daß sie schon nach wenigen Jahren der vollständigen Zerstörung unterliegt, die, von den Ecken und feinen Rissen der Lochungen ausgehend, die ganze Lagerfläche und ihre Umgebung ergreift, wie in Abb. 28 an einer schwachen Schwelle alter Form dargestellt ist. Weitere Schäden entstehen an eisernen Schwellen durch Angriffe der Stopfhacke und des harten scharfkantigen Bettungsstoffes, ferner durch Rost. Nach Ermittlungen bei den sächsischen Staatsbahnen*) kann der jährliche Verschleiß eiserner Schwellen, ausgedrückt durch Einbuße an Gewicht, auf 1,0 bis 1,6 % angesetzt werden, ist also keineswegs in seiner Bedeutung für die Lebensdauer der Schwellen zu unterschätzen.

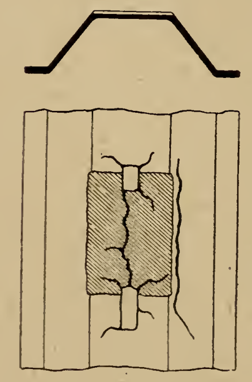


Abb. 28. Zerstörung eiserner Schwellen.

Elastizität der Holzschwellen.

Die Druckübertragung auf die Schwellen wird wesentlich begünstigt durch die Elastizität des Schwellenstoffes. Die elastisch nachgiebige

*) Vgl. Scheibe, Organ 1915 S. 220.

Schwelle ist befähigt, die Schlagwirkungen abzuschwächen, mehr in einfache Druckspannungen umzuwandeln und in dieser weniger schädlichen Form in sich aufzunehmen und in den Untergrund weiter zu leiten. Sie ist der Schiene behilflich, den harten Angriffen des Rades durch elastisches Nachgeben schnell auszuweichen, ohne die ganze Masse des Gleises in Bewegung setzen zu müssen, sie schont daher Schiene, Schwelle und Gleisbett. Um über das Maß der elastischen Zusammenpressung von Holzschwellen unter der Verkehrslast genaueren Aufschluß zu erhalten, wurde eine Reihe von Messungen an unversehrten Schwellen im Betriebsgleise vorgenommen*). Dazu wurde an sämtlichen Schwellen eines Schienensatzes die gewöhnliche Befestigung der Schienen nach Abb. 29 durch Ankerschrauben a mit unterem Queranker b und Klemmplatte c ersetzt, zwischen Klemmplatte und Schraubenmutter der umgebogene Zinkstreifen d und der Federring e von etwa 175 kg Spannkraft eingefügt, und über der Schraubenmutter die Platte f mit federndem Schreibstift g fest aufgeschraubt. Die Ankerschrauben wurden gespannt, bis der Federring voll geschlossen war. Mit dem Zusammenpressen der Schwelle unter der Radlast senkten sich nun die Klemmplatten c mit dem Zinkstreifen, während die Ankerschrauben mit dem Schreibstift durch die Spannung der Federringe ihre Höhenlage über der Schwellenunterfläche unverändert behielten. Die zu beiden Seiten der Schiene an den Zinkplatten eingeritzten Marken bezeichnen daher das wirkliche Maß der Zusammenpressung der Schwelle unter der inneren und äußeren Fußkante der Schiene. Kieferne Schwellen von 26 × 16 cm Querschnitt mit 16 × 18 cm großen Unterlagplatten bei 77 cm Schwellenteilung wurden durch Radlasten von 6,8 t unter der Schienenmitte 0,6 bis 1,8 mm zusammengepreßt, in Krümmungen von 750 m am Außenstrang unter der inneren Fußkante mehr als unter der äußeren (Abb. 29), am Innenstrang umgekehrt, eine Erscheinung, die mit der sonst beobachteten Art des Schienendruckes in Gleiskrümmungen im Einklang steht. Eichene Schwellen besitzen nach den Beobachtungen nur etwa den dritten Teil der Elastizität, übertragen also den Druck auf den Untergrund nicht so günstig wie kieferne.

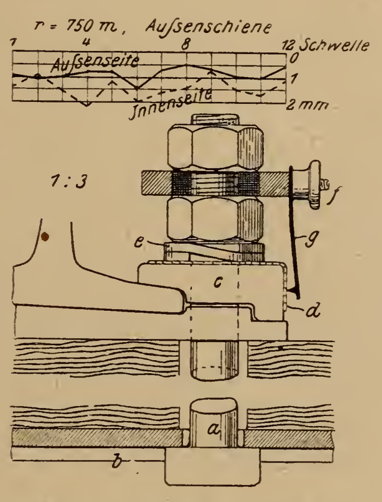


Abb. 29. Elastizität kieferner Schwellen.

Aufwärts gerichtete Zugkräfte.

Mit dem senkrechten Druck auf den Schwellen wechseln aufwärts gerichtete Zugspannungen, als Folgen der Gleishebung vor und hinter der Last und der Rückschläge der entlasteten Schienen. Die Gleishebungen bleiben in sehr mäßigen Grenzen (vgl. Abb. 1) und vollziehen sich so langsam, daß

*) Vgl. auch Zeitschr. f. Bauwesen 1896 S. 561.

die Zugspannungen nur wenig das Eigengewicht der Schwellen übersteigen. Anders die Rückschläge der Schienen. Die schnell entlastete Schiene treibt aufwärts mit der Spannung, die sie durch die Last erfuhr, sie schlägt bei loser Verbindung frei gegen die Befestigungsstücke, reißt aber die festverbundene Schwelle mit sich nach oben, ihre träge Masse in beschleunigte Bewegung setzend. Die dabei entwickelten Zugspannungen werden um so größer, je schwerer die Schwelle ist und je kürzer die Zeit, in der die Schiene entlastet wird, je größer also die Fahrgeschwindigkeit. Sie können bis etwa 400 kg an einem Schienenlager eingeschätzt werden. Andere Zugspannungen, die unbeeinflußt durch den Betrieb nur durch Anziehen der Schwellenschrauben entstehen, lassen sich durch geeignete Maßnahmen auf jedes beliebige, unschädliche Maß einschränken.

Seitenangriffe.

Die von den Schienen ausgehenden seitlichen Schubkräfte werden durch die Befestigungsmittel oder durch sonstige seitliche Widerstände am Schienenlager auf die Schwellen übertragen. Der Seitendruck der Befestigungsmittel wirkt auf die Holzschwellen im allgemeinen ungünstig, einmal wegen der geringen Größe der Druckflächen, sodann wegen der Hebelwirkung der Angriffskraft (Abb. 30). Durch diese werden namentlich die obersten, an sich weniger widerstandsfähigen Schichten der Holzschwelle leicht übermäßigen Druckspannungen ausgesetzt, die in starken Krümmungen bei dreifacher Nagelung eines Schienenlagers bis auf etwa 200 kg/cm² zu schätzen sind. Sie verdrücken die Holzfasern, beeinträchtigen die Haftfestigkeit und schaffen schädliche Hohlräume. Die Druckspannung wird abgeschwächt durch Vermehren der Befestigungsstücke und gleichmäßiges Übertragen des Druckes mit Hilfe von Unterlagplatten, auch durch Einfügen breiter Holzdübel, am wirksamsten aber durch erhöhte Reibungswiderstände am Schienenlager. Unter der vollbelasteten Schiene genügt nun zwar die Reibung auf der gedrückten Stützfläche im allgemeinen schon allein, um die Seitendrücke aufzunehmen*), nicht aber an den weniger oder gar nicht belasteten, ebenfalls dem Seitendruck ausgesetzten Stellen. Sie bedürfen daher vermehrter Reibung durch starkes Anspannen der Befestigungsmittel. Die Gleitwiderstände der festgespannten Verbindung werden nicht unerheblich gesteigert durch klebrige Zwischenlagen, wie sie schon durch Austritt von Tränkstoff aus den Schwellen entstehen, oder durch Einfügen teergetränkter Faserstoffe oder Holzplättchen geschaffen werden können. Gelingt es, allein durch Gleitwiderstände die Seitendrücke aufzuheben, so entspringt der nicht hoch genug anzuschlagende Vorteil, daß alle seitlichen Bewegungen und daraus entstehenden Abnutzungen am Lager vermieden, daß ferner die Befestigungsmittel und ihr Sitz in den Schwellen

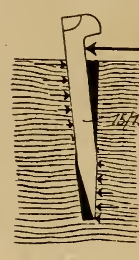


Abb. 30.
Seitendruck.

*) Vgl. M. M. v. Weber, Die Stabilität des Eisenbahngestänges S. 219.

von Seitenschub vollständig entlastet und infolgedessen am wirksamsten gegen Verschleiß und Verdrücken geschützt werden.

Ebenso nachteilig wie den Holzschwellen sind die seitlichen Angriffe der Befestigungsmittel den Eisenschwellen. Die Lochwände in den dünnen Decken sind nicht geeignet, starke Drücke aufzunehmen, um so weniger, wenn die berührenden Flächen aneinander scheuern. Dann entstehen die bekannten weitgehenden Abnutzungen sowohl an den Lochwänden als an den Befestigungsstücken. Als wirksamstes Schutzmittel ist auch hier volle Entlastung der Lochwände von Seitendruck anzusehen.

Kraftwirkungen an den Befestigungsmitteln.

Schienennägel.

Den Schienenbefestigungsmitteln können leicht Abmessungen gegeben werden, die den aufzunehmenden Spannungen voll entsprechen. Sie erhalten ihre Form aber nicht allein in Rücksicht auf ihre eigene Festigkeit, sondern auch in Rücksicht auf die Haftsicherheit, namentlich beim Holzschwellenbau. Die Haftfestigkeit des einfachen Schienennagels ist gleich seinem Reibungswiderstand an den starkgepreßten elastischen Holzfasern. Dieser Widerstand, der in neuen kiefernen Schwellen für 160 mm lange 14 × 14 mm starke Nägel auf etwa 2000 kg, in Hartholzschwellen auf 3500 kg anzusetzen ist, genügt zunächst allein gegenüber den auftretenden Zugspannungen, aber mit der Zeit erlahmt der elastische Druck des Holzes, und unter Mitwirkung von Witterungseinflüssen schwindet die Haftfestigkeit auf ein sehr bescheidenes Maß, die Nagelköpfe lüften sich über dem Schienenfuß, eine regelmäßige Erscheinung in alten genagelten Gleisen.

Schrauben.

Die Schraube, die neben der Reibung dem Holze wirkliche Stützflächen darbietet, ist imstande, bestimmte gleichbleibende Spannungen auf die Schwelle zu übertragen (Abb. 31). Dabei entstehen zweierlei Spannungen im Holze, einmal reine Druckspannung D an der oberen Fläche des Gewindesteges, sodann Scherspannungen S im Holze am Umfange des äußeren Schraubendurchmessers. Bei gegebener Angriffskraft ist die Scherspannung abhängig von der wirksamen Länge und von dem äußeren Durchmesser der Schraube, die Druckspannung außerdem von der Höhe h des Gewindesteges und der Gewindesteigung a. Der vollkommenste Zustand besteht, wenn das Holz beiden Angriffsarten gegenüber gleich widerstandsfähig ist. Das führt zu bestimmten Maßverhältnissen, die nur auf Grund längerer Beobachtungen abgeschätzt werden können. Man hat wohl die Haftfestigkeit verschiedener Schraubenformen in neuen Hölzern durch Belastungsversuche ermittelt, z. B. für Schwellenschrauben in kiefernen Schwellen zu 3200 kg, in eichenen zu 6000 kg, in buchenen zu 7300 kg, doch ist damit noch keineswegs ein Maßstab für ihr späteres Verhalten gegeben. Man findet selbst in sehr alten Gleisen

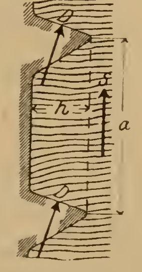


Abb. 31. Schwellenschraube.

Schraubenverbindungen von vorzüglicher Beschaffenheit, die Schraubengewinde in ihrer ursprünglichen reinen Form, die Holzgewinde gesund und fest, anderseits in jüngeren Gleisen die Gewindestege fast abgerostet, das Holz mürbe und von Nässe und Rost angefressen. Die Güte einer Holzverschraubung beruht daher nicht allein auf der Schraubenform, sondern mehr noch auf Schutzmaßregeln gegen zerstörende Naturkräfte, namentlich gegen Eindringen der Nässe.

Den Holzschrauben gegenüber haben die Eisenschrauben mit Kopf und Mutter den Vorteil, daß sie mit ihrer vollen Zugfestigkeit in Anspruch genommen werden können, daher imstande sind, viel stärker gespannte Verbindungen zu schaffen. Das tritt namentlich zutage bei der Verbindung der Schienen mit eisernen Schwellen oder eisernen Stühlen.

Die größten Spannungen werden den Schrauben in der Regel während des Einschraubens zugemutet. Dabei entstehen neben den Zugspannungen in den Holzschrauben Drehspannungen, deren Größe nach der Weite der Vorbohrung und nach der Härte des Holzes wechselt und oft ausschlaggebend ist für die Abmessungen der Schraube. Da die Schraubenspannung in festem Verhältnis zur Hebelübertragung des Schraubenschlüssels steht, so hat man es in der Hand, sie in ziemlich bestimmten Grenzen zu halten.

Sehr ungünstig werden die Befestigungsmittel durch exzentrische Angriffe beansprucht. Die größte Faserspannung im Schaft einer Schwellenschraube, die sich einseitig auf den Schienenfuß stützt, ist rechnungsmäßig etwa achtmal so groß und die Spannung im Holzgewinde 4,5mal so groß als bei gleich starkem achsialen Angriff. Noch höher, bis auf das Zehnfache, steigt die Spannung einseitig abgestützter Eisenschrauben. Berücksichtigt man, daß in eine 22 mm starke Eisenschraube mit einem 50 cm langen Schlüssel ohne Mühe Gesamtspannungen von mehr als 2000 kg übertragen werden können, so ergeben sich einseitige Faserspannungen, welche die zulässige Grenze bei weitem überschreiten, zumal wenn seitliche Angriffe mit neuen Schub- und Biegespannungen hinzutreten. Für die Dauerhaftigkeit der Gleisverbindungen ist es daher von hohem Wert, die Befestigungsstücke von allen Kraftangriffen, für die sie nicht ausdrücklich eingerichtet sind, nach Möglichkeit frei zu halten, die gewöhnlichen Schrauben namentlich von starken Schub- und Biegespannungen und einseitigen Angriffen. Von den verderblichen Wirkungen solcher Angriffe legen alle Sammlungen alter verbrauchter Stücke beredtes Zeugnis ab.

Kraftwirkungen im Gleisbett und Untergrund.

Von den Schwellen wird der Druck weiter an das Gleisbett und den tieferen Untergrund abgegeben. Das Gleisbett als nicht einheitlicher und nicht festgefügter Körper kann keine Zugspannungen aufnehmen, Druckspannungen aber nur unter Mithilfe der inneren Reibungswiderstände. So-

bald diese überwunden sind, verschiebt sich das lose Gefüge, die Grenze der Tragfähigkeit ist erreicht. Bis zu dieser Grenze besitzt indessen die festgelagerte Bettung elastische Eigenschaften ähnlich denen eines einheitlichen gedrückten Körpers, namentlich wird angenommen, daß, wenigstens bis zu einem gewissen Belastungsgrade, das Maß ihrer elastischen Zusammenpressung im gleichbleibenden Verhältnis zum Lastdruck steht, eine Annahme, auf die sich die ganze Berechnung des Oberbaues stützt. Als Elastizitätsziffer des Bettungsstoffes, meistens kurz mit Bettungsziffer C bezeichnet, wird die Last in Kilogramm eingeführt, unter welcher 1 cm² Bettungsoberfläche 1 cm tief elastisch einsinkt. Dabei kann es sich nicht wie bei einheitlichen Körpern um feststehende oder eng begrenzte Werte handeln, denn die elastische Einsenkung des Gleisbettes wechselt je nach der loseren oder im Laufe der Zeit fester gewordenen Lagerung, nach der Größe, Form und Elastizität des einzelnen Kornes sowie nach der Elastizität des Untergrundes in weiten Grenzen. Zimmermann setzt auf Grund eingehender Untersuchungen bei ruhender Last die Werte C = 3 für Kiesbett und C = 8 für Schotterbett in Rechnung. Zu wesentlich anderen Ergebnissen gelangt Wasiutynski bei seinen umfangreichen, unter bewegter Last angestellten Beobachtungen*). Er trennt die Elastizitätsziffer der eigentlichen Bettung von der des Untergrundes und findet für sandigen Untergrund eine Senkung, die fast genau der nach Abb. 8 für tonigen Untergrund ermittelten entspricht. Daraus leitet er die Elastizitätsziffer 5 ab für den Untergrund in einer Tiefe von 50 cm unter der Schwelle. Für das Kiesbett an sich findet er die Ziffer 6,9 bis 9, für Granitschotter nur 4,6 bis 6,5 und daraus für Kiesbett nebst Untergrund den Wert C = 4,7 bis 6,1 und für Schotterbett nebst Untergrund nur C = 3,4 bis 4,8. Anderseits werden viel höhere Werte, für Schotterbett auf Packlage 15, sogar bis 30 angenommen.

Elastizität des Gleisbettes.

Die elastische Senkung des ganzen Gleises setzt sich nun zusammen aus dem elastischen Zusammenpressen des Gleisbettes und der Schwelle und dem Verschwinden von Hohlräumen zwischen Schiene, Schwelle und Bettung. Wie oben erwähnt, betrug die beobachtete elastische Zusammenpressung kieferner Schwellen unter einer Radlast von 6,8 t zwischen 0,6 und 1,8 mm. Als elastische Senkung des Kiesbettes nebst Untergrund wurde gleichzeitig 0,5 bis 1,2 mm gefunden. Das würde im festverbundenen und festgelagerten Gleise eine Gesamtsenkung von durchschnittlich etwa 2 mm ergeben. Die tatsächliche Senkung des ganzen Gleises unter gleicher Last wurde von Wasiutynski zu 2,2 bis 3 mm ermittelt, vom Verfasser in festverbundenem und gutgelagertem Gleise zu 1 bis 2,3 mm, im alten genagelten Gleise mit kiefernen Schwellen zu 1,5 bis 4,8 mm. Diese größeren Senkungen sind auf Hohlräume unter den Schienen oder Schwellen zurückzuführen. Durch feste Gleisverbindungen werden zwar die Hohlräume zwischen

Elastizität des ganzen Gleises.

*) Organ 1899, Ergänzungsheft.

Schiene und Schwelle nahezu beseitigt, zwischen Schwelle und Bettung indessen vergrößert. Diese Spielräume unter den Schwellen wurden in festverbundenen, auf Kiesbett gut gelagerten Gleisen zu 0 bis 1,2 mm ermittelt. Sie traten in der Regel gruppenweise auf (Abb. 32), in ihrer Größe beeinflußt durch die Grundform der Schiene und die Schwere des Gestänges. Im lose verbundenen Gleise fanden sich nur einzelne, bis 0,4 mm hochliegende Schwellen. Bei abwechselnd eichenen und kiefernen Schwellen waren die Hohlräume unter den eichenen regelmäßig größer als unter den kiefernen, eine Erscheinung, die mit dem verschiedenen Elastizitätsgrad beider Schwellenarten zusammenhängt, gemischte Verwendung ungleichartiger Schwellen, wie sie früher oft beliebt war, daher nicht ratsam erscheinen läßt. Unter eisernen Schwellen wurden Hohlräume bis 2 mm beobachtet.

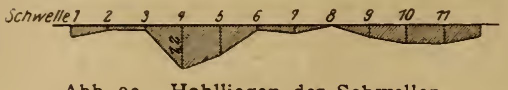


Abb. 32. Hohlliegen der Schwellen.
Längen 1 : 150, Höhen 5 : 1.

In statischer Hinsicht macht sich das Maß der elastischen Gleissenkung nach Zimmermann dahin geltend, daß der Schienendruck auf den Schwellen und der Bettungsdruck mit wachsender Nachgiebigkeit der Bettung abnimmt, das Biegemoment der Schiene und Schwelle aber zunimmt. An den Stoßknicken erleidet die Gleissenkung der Ruhelage einen Zuwachs, der sich bei den oben beschriebenen Versuchen zwischen 50 und 100 % bewegte. Den gleichen Zuwachs fand Wasiutynski bei seinen Beobachtungen. Ast schätzt den ganzen Zuwachs durch dynamische Angriffe bis auf 133 %, Flamache und Dudley bis etwa 100 %. Daß das Zuwachsverhältnis mit dem Elastizitätsgrade des Gleises nach bestimmten Gesetzen wechseln sollte, war aus den bisherigen Beobachtungen nicht zu ersehen. Auch nach den sonstigen Erfahrungen liegt kein Grund vor, die Elastizität des Gleises, die bei der jetzigen Bauart etwa 2 bis 3 mm beträgt, zu vergrößern, um die Stoßwirkungen abzuschwächen, zumal hiermit anderseits Nachteile, nämlich leichteres Lockern des Gleisgefüges und Längsschübe durch stärkere Wellenbildungen verbunden sein würden. Saller empfiehlt mäßige, aber gleichförmige Elastizität des Gleises, wenn er auch von rein theoretischem Standpunkt ein größeres Maß für nützlich hält.

Unvollkommene Elastizität.

Wenn nun auch angenommen werden darf, daß das Gleisbett unter einmaliger Belastung volle Elastizität bewahrt, so erleidet es doch unter dem häufigen Wechsel der Last auch dauernde Formänderungen, die nicht ohne Einfluß auf die Verteilung des Bettungsdruckes bleiben. Wo regelmäßig stärkere Bettungsdrücke auftreten, weicht das Gleisbett allmählich mehr zurück als an den weniger gedrückten Stellen und gleicht damit den Bettungsdruck bis zu einem gewissen Grade aus. Diesen Vorgang zu veranschaulichen, mag folgender Versuch dienen. In einem Gleisabschnitt mit festverschraubten Holzschwellen auf Kiesbett wurden die einzelnen Schwellen absichtlich ungleich unterstopft, so daß nach Überfahrt der ersten Züge

nur einzelne Schwellen fest auf der Bettung ruhten, die übrigen aber frei schwebten. Die Spielräume unter den Schwellen wurden durch Messen der Senkungen ermittelt, welche die Schwellen beim Lösen der Befestigungsschrauben erfuhren. Durch wiederholte Messungen (Abb. 33) wurde nun gefunden, daß die Spielräume mit der Zeit geringer wurden, daß also die mehrbelastete Bettung unter den festgelagerten Schwellen schneller nachgab, bis die Angriffe auf die Bettung nahezu ausgeglichen waren,

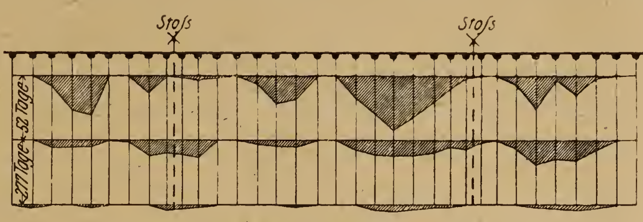


Abb. 33. Ausgleich des Bettungsdruckes.
Längen 1 : 300, Höhen 1 : 1.

allerdings unter starker Beeinträchtigung der ursprünglichen Gleichmäßigkeit in der Höhenlage des Gleises. Ähnliche Vorgänge können unter den einzelnen Schwellen vorausgesetzt werden. Auf neuer Bettung verteilt sich der Druck der elastischen Schwelle zunächst ungleichmäßig (vgl. Abb. 25), gleicht sich aber mit der Zeit über die ganze Schwellenlänge nahezu aus durch stärkeres Nachgeben der mehr gedrückten Stellen. Ein solcher Druckausgleich hat zur Folge, daß der höchste Bettungsdruck vermindert, die Biegespannung der Schwelle aber vergrößert wird. Er setzt ferner voraus, daß die Oberfläche des Gleisbettes nicht eben bleibt, sondern schon im unbelasteten Zustande unter der Schwelle die gleiche Form annimmt wie die elastische Linie der belasteten Schwelle unter gleichverteiltem Bettungsdruck (Abb. 34). Bei der Verschiedenheit der Lastgrößen würde hierbei eine Form der elastischen Linie zutage treten, die etwa der mittleren Lastgröße entspricht. Die unbelastete gerade Schwelle ruht also nur an einzelnen Stellen auf der Bettung.

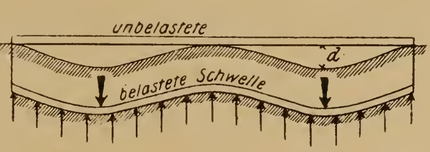


Abb. 34. Gleichverteilter Bettungsdruck.

Der günstigste Zustand besteht, wenn die Hohlräume d unter der Schwelle möglichst gering bleiben, wenn also die Schwelle in der Ruhelage an drei Stellen, in der Mitte und an den Enden, aufruht. Rechnungsmäßig tritt dieser Zustand ein bei einer Schwellenlänge von etwa 270 cm, die auch von Zimmermann unter Annahme ungleichen Bettungsdruckes empfohlen wird. Der größte Spielraum d beträgt hierbei unter hölzernen Schwellen rechnungsmäßig weniger als 0,5 mm, unter den gebräuchlichen eisernen Schwellen etwa das Doppelte. Übereinstimmend hiermit beobachtet Wasiutynski, daß an langen Schwellen von 270 cm die Köpfe sich weniger senken, als die Rechnung von Zimmermann ergibt, an kurzen Schwellen von 244 cm aber mehr. Cuénot fand tatsächlich die Form der belasteten Schwelle als Abdruck im Gleisbett. Auch ist bekannt und leicht zu beobachten, daß die biegsamen 270 cm langen eisernen Schwellen im unbelasteten

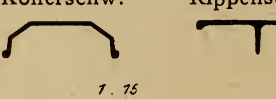
Zustande oft mit ihren Enden fest aufruhen, unter den Schienen aber hohlliegen, eine Erscheinung, zu der außerdem gewohnheitsmäßig stärkeres Unterstopfen der Enden beitragen mag. Immerhin dürfte die Schwellenlänge von 270 cm reichlich bemessen und kein Grund vorhanden sein, über dieses Maß hinauszugehen.

Das Verhalten des Gleisbettes unter der Last beobachtete Schubert*) durch besondere Versuche in der Weise, daß er außerhalb des Gleises festbegrenzte Bettungskörper bildete und mittels aufgelegter Schwellenstücke durch eine mechanische Vorrichtung ähnlich den wirklichen Vorgängen im Gleise in schneller Folge be- und entlastete. Er findet, daß die frisch gestopfte Schwelle zuerst schnell, dann langsamer in das Gleisbett eingedrückt wird, bis nach vollem Verdichten des Bettungsstoffes ein Beharrungszustand entsteht, in welchem das weiter belastete Gleis gleichmäßig nachsinkt. Die Senkung bis zum Eintritt dieses Beharrungszustandes bezeichnet er als Stopfverlust. Das Verhältnis der Senkung zur Anzahl der Belastungen stellt er bildlich in den Senkungslinien dar, die einen anschaulichen Maßstab geben für die Widerstandsfähigkeit der Bettung und des Untergrundes und für die Zweckmäßigkeit verschiedenartiger Schwellenformen. Er stellt ferner fest, daß die Stopfverluste und die weiteren Senkungen nach jeder neuen Stopfung geringer werden, daß sie kleiner ausfallen bei Schwellen mit ebener Lagerfläche als bei Kofferschwellen, daß sie schließlich mit dem Maße der Schwellenteilung schnell abnehmen. Unter gleicher Last war die Senkung im Kiesbett etwa dreimal so groß als in hartem Steinschlag, und die Senkung der eisernen Kofferschwellen etwa sechsmal so groß als die der Holzschwellen. Der Verlust an Stopfhöhe verhielt sich bei Holzschwellen, flachen eisernen Rippenschwellen und eisernen Kofferschwellen der Formen Abb. 35 wie 2 : 5 : 8. Der Beharrungszustand in der Senkung trat bei Holzschwellen nach etwa sechsmaligem Unterstopfen, bei eisernen Kofferschwellen erst nach 20maligem Stopfen ein, nachdem sich der Schwellenhohlraum fest mit zerkleinertem Bettungsstoff gefüllt hatte. War der Beharrungszustand erreicht, so blieb das Maß der weiteren Senkung weniger von der Form und dem Stoff der Schwellen abhängig als vom Bettungsstoff und von der Schwellenteilung.

Abb. 35. Widerstand der Bettung unter

Holzschwellen **Kofferschw.** **Rippenschw.**





Verschiebungen im Gleisbett.

Gleichzeitig mit den senkrechten entstehen unter starker Last seitliche Verschiebungen im Gleisbett, die unter den Schwellen ihren Ursprung nehmen und schließlich zum Auftrieb des Gleisbettes neben der Schwelle führen. Diese kreisenden Bewegungen wurden zuerst von Schwedler, dann von Zimmermann rechnerisch untersucht. Beide nehmen an, daß im Gleisbett auf durchaus festem Untergrund nach Abb. 36 von der stark belasteten

*) Zeitschr. f. Bauwesen 1896 u. 1897, Organ 1897.

Schwelle aus ein Ablösungskörper A entsteht, der um den Punkt O drehend auf der gekrümmten Bahn B C unter gleichbleibendem Reibungswinkel φ des Bettungsstoffes nach oben abgleitet. Der hierzu nötige Seitendruck wird vermittelt durch einen unter der Schwelle entstehenden Bettungskeil K mit dem Scheitelwinkel $\alpha = \frac{1}{2}\pi - \varphi$. Auf den Ablösungskörper wirken als Kräfte sein Eigengewicht G, der Schwellendruck p. b, der Widerstand R am Keil und die nach dem Punkt O gerichteten Widerstände s an der Gleitfläche B C. Aus dem Drehmoment aller angreifenden Kräfte um den Punkt O wird die Belastung der Schwelle berechnet, die imstande ist, den Ablösungskörper in Bewegung zu setzen. Die Form der Gleitbahn erscheint als logarithmische Schneckenlinie. Der Widerstand des Ablösungskörpers steht in bestimmtem Verhältnis zum Reibungswinkel φ, der Auflast h neben der Schwelle und der Schwellenbreite b. Besonders einflußreich ist der Reibungswinkel φ, der ausgedrückt wird durch den natürlichen Böschungswinkel des Bettungsstoffes. Wächst er von 30 auf 40°, Unterschiede, mit denen im Kiesbett zu rechnen ist, so wächst der Widerstand bereits auf das Fünffache. Ferner wächst die Tragfähigkeit des Gleises mit der Höhe der Auflast und mit der Schwellenbreite, mit letzterer in geradem Verhältnis bei fehlender Auflast. Schwedler folgert hieraus für den zulässigen Bettungsdruck im Kiesbett einen mittleren Wert von etwa $p = 0{,}08\, b$ kg/cm².

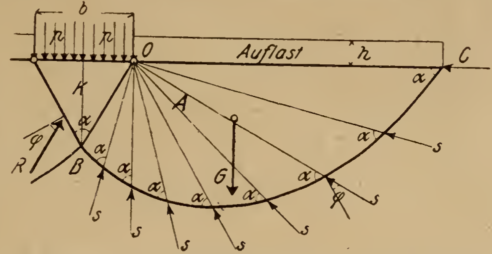


Abb. 36. Ablösungskörper der Bettung nach Zimmermann.

Tragfähigkeit des Gleisbettes.

Ähnlich diesen berechneten verlaufen die wirklichen Vorgänge, die Schubert bei seinen Druckversuchen im Gleise beobachtete. Um weiteren Aufschluß über diese für die Tragfähigkeit des Gleisbettes so bedeutungsvollen Vorgänge zu gewinnen, wurden vom Verfasser neue Versuche angestellt*), die darauf ausgingen, die wirklichen Verschiebungen in allen Teilen des Bettungskörpers genauer festzustellen und die Last zu ermitteln, unter der die Bettung schließlich ganz ausweicht, mithin die Grenze ihrer Tragfähigkeit erreicht. Solche Versuche waren nur mit Modellen in kleinem Maßstabe durchführbar. Die Ergebnisse dürfen daher nicht ohne weiteres nach Maß und Zahl auf größere Maßstäbe oder auf die wirklichen Zustände im Gleise übertragen werden, sind vielmehr nur als Anschauungsmittel für die eigentümlichen Kraftübertragungen in geschütteten Massen anzusehen. Zu den Versuchen wurde meistens feiner gesiebter Sand von einer Korngröße unter 1 mm verwendet. Dieser wurde in dünnen, verschieden gefärbten Lagen in einem Kasten mit vorderer Glasscheibe aufgeschichtet und mittels schwellenartiger Brettchen durch einen als Manometer ausgebildeten Druckstempel belastet. Die dabei entstehenden Verdrückungen der Lagen

*) Näheres: Zeitschr. f. Bauwesen 1904 S. 591.

wurden auf der Glasplatte verzeichnet und somit Bilder von den Wanderungen an jeder beliebigen Stelle gewonnen. Die Breite der Schwellen betrug 25 bis 80 mm, die Breite der Bettung neben der Schwelle konnte durch Einsetzen fester Wände beliebig geändert werden.

Bei den ersten Versuchen mit Einzelschwellen in seitlich unbegrenztem Bett drückte sich das Bett zunächst senkrecht unter der Schwelle zusammen, begann dann bei weiterer Druckzunahme seitlich unter und neben der Schwelle zu wandern, in der Weise, daß sich auf einer unteren ruhenden Schicht ein Körper ablöste, zuerst in verschwommenen Linien, dann schärfer und bestimmter. Mit dem vollständigen Erscheinen der Ablösungslinie war der größte Widerstand der Bettung erreicht, die Schwelle brach plötzlich unter starkem Nachgeben des Druckes ein. In Abb. 37 sind einige dieser Ablösungslinien (1, 2, 3) dargestellt. Sie entsprechen in der Form im allgemeinen der von Schwedler berechneten logarithmischen Schneckenlinie, doch ist ein deutlich ausgeprägter Druckkeil, wie er von Schwedler vorausgesetzt wird, nicht zu erkennen. Zwar entstanden senkrechte Bewegungen der Sandkörner unterhalb der Schwelle, die auf solche Form schließen lassen können, ebenso häufig aber, namentlich unter starkem Druck bei eingeschränktem Gleisbett, begannen die kreisenden Bewegungen, wie auch Schubert beobachtete, schon unmittelbar unter der Schwelle neben einem festen mit der Spitze nach oben gerichteten Stützkeil (vgl. Abb. 38). Die Ablösung folgt offenbar der Linie, die dem Verschieben den geringsten Widerstand entgegensetzt. Dem entspricht in unbegrenztem Gleisbett die Schwedlersche Linie. Ist aber das Gleisbett seitlich beschränkt, so muß die Ablösungslinie einen kürzeren, wenn auch widerstandsvolleren Weg suchen, wie er nach Abb. 38 sich bietet. Je weiter die Einschränkung fortschreitet, desto kleiner wird der Neigungswinkel β, bis er den Grenzwert φ, den Reibungswinkel des Bettungsstoffes erreicht, unter den hinab selbst beim stärksten Druck kein seitliches Verschieben mehr möglich ist. Das Gleisbett erreicht also bei einem gewissen Maß der seitlichen Einschränkung O C unbegrenzte Tragfähigkeit.

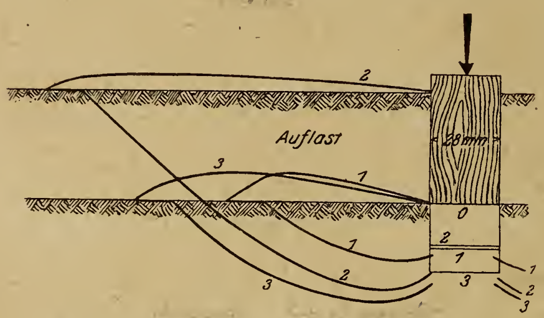


Abb. 37. Beobachtete Ablösungslinien 1 : 3.

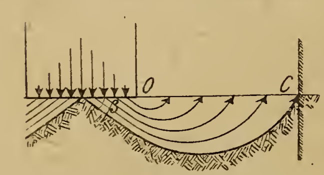


Abb. 38. Drucklinien in begrenzter Bettung.

Um nun den aus loser Schüttmasse bestehenden Ablösungskörper im ganzen auf der Unterlage zu verschieben, bedürfen seine unteren Schichten eines stärkeren Druckes als die oberen, weil sie längere Reibungswege und größere Widerstände zu überwinden haben. Da aber diese unteren Schich-

ten ihren Seitendruck von dem mittleren Teil der Schwelle her erhalten, so wird der Bettungsdruck unter der Schwellenmitte am größten, nach den Kanten hin geringer (Abb. 38), eine Erscheinung, die sich auch aus Schwedlers Annahme ergibt, und die bei den Druckversuchen unmittelbar beobachtet werden konnte. In Abb. 39 ist die Tragfähigkeit feinen Sandbettes bis zum Einbruch unter einer Einzelschwelle bei zunehmender seitlicher Einschränkung des Bettes und unter verschiedener Auflast bildlich dargestellt. Wie ersichtlich, wächst die Tragfähigkeit erheblich mit der Auflast und in stark steigendem umgekehrten Verhältnis zur Breite des Bettes, also auch zur Schwellenteilung.

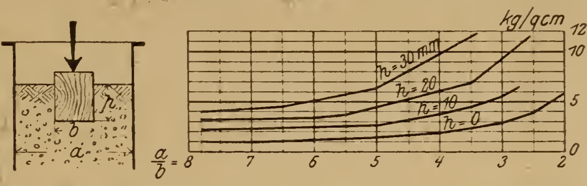


Abb. 39. **Tragfähigkeit der Bettung unter Einzelschwellen.**

Vorgänge ähnlicher Art spielen sich unter dem Druck zweier benachbarter Schwellen ab. Von beiden gehen Ablösungslinien aus, die zwischen den Schwellen zusammentreffen und gemeinsam senkrecht aufbrechen. Der Druckversuch Abb. 40 veranschaulicht die von den einzelnen Punkten des

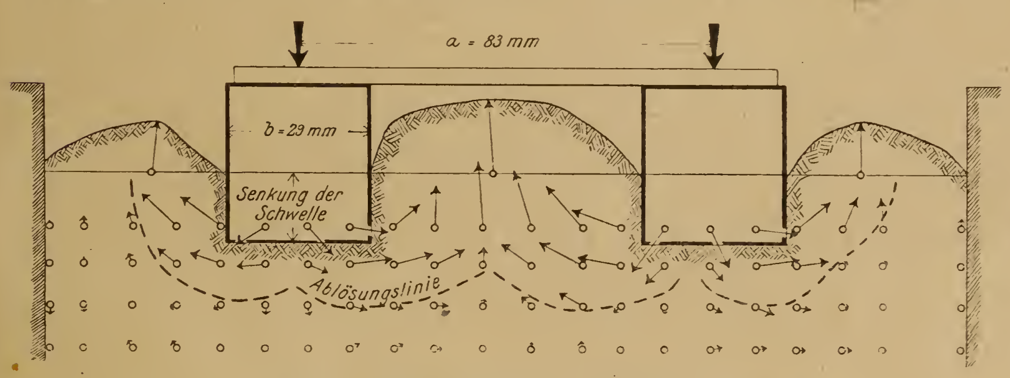


Abb. 40. Verschiebungen im Sandbett, 2 : 3.

Gleisbettes während des Senkens der Schwellen vollführte Wanderung durch Pfeile nach Richtung und Größe, sowie die Lage der Ablösungslinien. Der Aufbruch wird offenbar verhindert, wenn die beiden Ablösungslinien sich nicht mehr im Winkel nach oben gerichtet treffen können, sondern stetig ineinander übergehen oder im Winkel nach unten zusammenstoßen müssen, wie Abb. 41 andeutet. Dann entsteht als Stütze der Schwellen eine unverschiebliche gewölbeartige Lage unterhalb der Linie A B C, aus der auch bei stärkstem Druck kein Bettungsstoff nach oben aufbrechen kann. Wann dieser Zustand eintritt, ist außer von der Beschaffenheit der Bettung

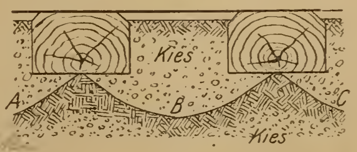


Abb. 41. Bettungsgewölbe.

wesentlich von der Schwellenteilung, d. h. von dem Verhältnis a : b, der Schwellenentfernung von Mitte zu Mitte zur Schwellenbreite abhängig. Er wurde erreicht bei dem Versuch mit 30 mm breiter Schwelle in feinem Sandbett bei einer Schwellenteilung a : b = 1,5 und einer Auflast h von etwa 20 mm unter Steigerung des Bettungsdruckes bis auf 40 kg/cm². Auch der in Abb. 42, 1 dargestellte Versuch bestätigt derartige Druckzustände. Denn bei weiten Schwellenteilungen bleibt die Tragfähigkeit des Bettes ziemlich gleich, erst von einer bestimmten Teilung ab, zwischen 4 und 2 je nach der Höhe der Auflast, wächst sie plötzlich in stark steigendem Maße, eine Erscheinung, die mit dem eintretenden Schluß des Bettungsgewölbes zu erklären ist. Aus Abb. 42, 2 ist zu ersehen, wie die Tragfähigkeit des Bettes in steigendem Verhältnis zur Auflast wächst, und zwar um so mehr, je enger die Schwellenteilung ist. Mit der Schwellenbreite b steigt die Tragfähigkeit,

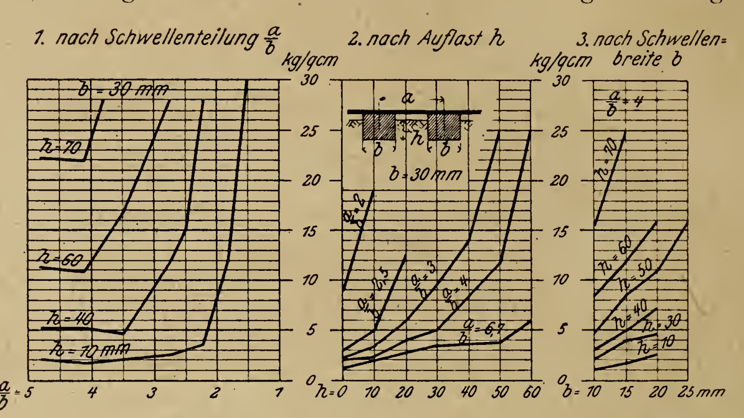


Abb. 42. **Tragfähigkeit der Bettung unter mehreren Schwellen.**

bezogen auf die belastete Flächeneinheit, in etwa gleichbleibendem Verhältnis (Abb. 42, 3), wie auch Zimmermann rechnerisch nachweist. Aus dem hervorragenden Einfluß enger Schwellenteilung erklärt sich auch die geringe Standfestigkeit der Langschwelle, die hinsichtlich der Druckübertragung etwa als Einzelschwelle in seitlich unbegrenztem Gleisbett betrachtet werden kann.

Durch die Erschütterungen unter bewegter Last wird der Reibungswiderstand im Bettungskörper und damit dessen Tragfähigkeit verringert, um so mehr, je runder das Bettungskorn ist. Bei Druckversuchen unter gleichmäßigem, der gewöhnlichen Betriebslast entsprechendem Einheitsdruck, aber unter starker Erschütterung des Sandbettes, wurde keine vollkommene Ruhelage erreicht. Aber der Einfluß der Schwellenteilung auf das Einsinken der Schwellen trat in ganz ähnlicher Art in die Erscheinung als unter ruhender Last, namentlich der außerordentlich günstige Einfluß enger Schwellenteilung und hoher Auflast.

Druckverteilung im Gleisbett.

Die gewöhnliche Gleislast reicht nun keineswegs immer aus, wirkliche Ablösungskörper oder Stützgewölbe auszubilden. Auftriebe zwischen den

Schwellen erscheinen zwar im Kiesbett auch bei ziemlich enger Schwellenteilung, selten aber in reinem Schotterbett mit seinen großen Reibungswiderständen. Man kann annehmen, daß in ihm der Druck unter gewöhnlicher Last von der Schwelle aus etwa in Form eines nach außen geschweiften Trapezes verläuft, und daß der Schwellendruck über die ganze Schwellenbreite sich nahezu ausgleicht. Folgt man der einfachsten Annahme, daß der Bettungsdruck von jedem Punkte der Schwellenunterfläche aus sich gradlinig kegelförmig nach unten fortpflanzt, so kommt man etwa zu der in Abb. 43 dargestellten Druckverteilung. Unterhalb einer Einzelschwelle entsteht in den einzelnen Schichten des Gleisbettes je eine mittlere Zone gleichen Druckes B C, denn jeder Punkt dieser Zone liegt im Bereiche sämtlicher von der Schwellenunterfläche ausgehenden Druckkegel. Die anschließenden Zonen B A und C D entziehen sich nach und nach dem Bereiche der Druckkegel, erfahren also gleichmäßige Druckabnahme. Demgegenüber wirkt ausgleichend der Druck von der Nachbarschwelle, der schließlich in bestimmter von der Schwellenteilung abhängigen Tiefe zu vollständig gleicher Druckverteilung führt, und zwar nach Abb. 43 in der Tiefe $H = \frac{1}{2} a \operatorname{tg} \beta$. Aus den in verschiedenen Tiefen verzeichneten Druckfiguren ist zu ersehen, daß der Einheitsdruck zunächst einen gleichbleibenden größten Wert p behält bis zu einer Tiefe $h = \frac{1}{2} b \operatorname{tg} \beta$. und erst in größerer Tiefe abnimmt. Bei einem mittleren Wert $\beta = 60°$, $b = 26$ cm, $a = 60$ cm wird $h = 22$ cm, $H = 52$ cm. Wenn auch die Art der Druckverteilung, namentlich der Winkel β, unbestimmt ist, so ist doch ersichtlich, daß voller Druckausgleich erst in bedeutender Tiefe stattfindet, nach Schuberts Versuchen in einer Tiefe von $a - b + 20$ cm, woraus sich für vorstehendes Beispiel $H = 54$ cm ergibt. So weitgehender Druckausgleich ist nötig auf leicht nachgiebigem Untergrund, denn in ihm bilden sich bei ungleichem Druck ähnliche, aber kürzere Ablösungskörper wie im Gleisbett, die zwischen den Schwellen nach oben treiben, das auflagernde Gleisbett mit sich nehmend. Dieser Auftrieb wird durch die auch von Hänzschel und Schubert beobachtete Tatsache gefördert, daß der Bettungsdruck von der Schwelle aus über nachgiebigem Untergrund steiler verläuft, also sich weniger seitlich verteilt als über festem Untergrund. Abb. 44

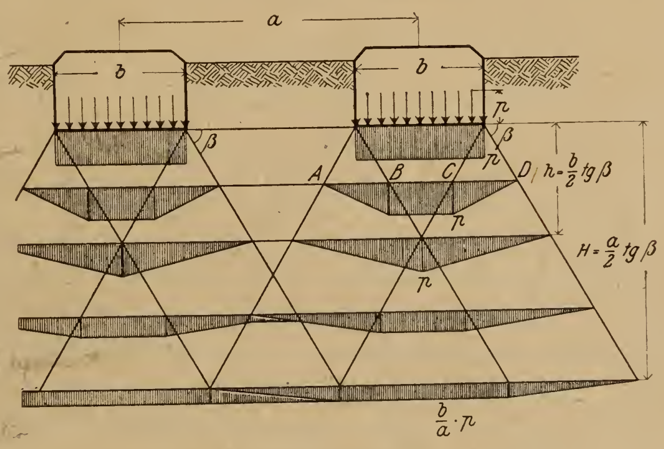


Abb. 43. **Druckverteilung im Gleisbett.**

zeigt einen Druckversuch von Schubert, Abb. 45 den Zustand in einem Betriebsgleise, aus dem die eigentümliche weitgehende Verdrückung weichen tonigen Untergrundes ersichtlich ist*). Schubert findet ferner, daß Schotterbett die Last gleichmäßiger auf den Untergrund überträgt als Kiesbett, daß die kreisenden Bewegungen unter den Schwellen über festem Untergrund um so flacher verlaufen, je enger die Schwellenteilung ist. Bei einer Schwellenteilung von 55 cm und Schwellenbreite von 25 cm reichten sie nur 12 bis 15 cm unterhalb der Schwelle hinab, während die tiefer liegenden Schichten von seitlichen Verdrückungen frei blieben (vgl. auch Abb. 41).

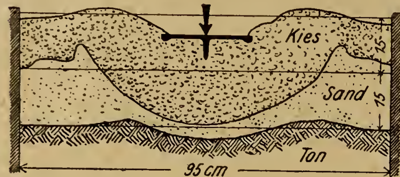


Abb. 44. Verdrücken des Untergrundes, nach Schubert.

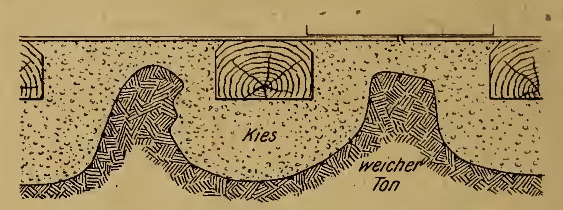


Abb. 45. Auftrieb weichen Untergrundes, nach Schubert.

Tragfähigkeit unter den Schwellenköpfen.

Anders verhält sich die Bettung vor den Schwellenköpfen, wo ihr seitlicher Widerstand erheblich geringer ist als zwischen den Schwellen, mithin auch die Tragfähigkeit nachläßt. Wird die Belastung über ein gewisses Maß hinaus gesteigert, so weicht dort die Bettung früher aus als unter dem mittleren Teil der Schwellen, und der Bettungsdruck vermindert sich etwa nach Abb. 46. Auch in den tieferen Lagen macht sich der geringere Seitenwiderstand bemerkbar. Wird das Gleis als ein einheitlicher plattenförmiger Körper betrachtet, so bilden sich bei ungenügender Tragfähigkeit des Untergrundes seitlich ähnliche Ablösungskörper wie an den Längsseiten einer einzelnen Schwelle ohne seitliche Beschränkung. Sie greifen durch die Bettung tief in den Untergrund und erscheinen in sehr nachgiebigem Tonboden als seitliche Verdrückungen der Kronenkanten und Auftriebe der Kronenflächen, die sich wallartig vor den Schwellenköpfen hinziehen (Abb. 46.)


Abb. 46. Seitendruck im Bahnkörper.

Widerstand gegen Querschub.

Der vom Gleisgestänge ausgehende Querschub wird in der Bettung aufgenommen teils durch den Widerstand der das Gleis umgebenden Bettungsmasse, teils durch die Reibung der Schwellen im Gleisbett. Der vor den Schwellenköpfen lagernde Bettungskörper löst sich unter hinreichendem Schub auf einer Fläche ab, die dem Verschieben den geringsten Widerstand bietet, im allgemeinen auf einer ansteigenden Gleitfläche. A B. Abb. 47. In rauher Bettung mit der Reibungsziffer 1 beträgt der rechnungsmäßige Widerstand der Verschüttung auf 1 m Gleislänge etwa 125 kg, der Reibungswiderstand des

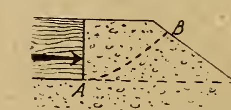


Abb. 47. Widerstand vor den Schwellenköpfen.

*) Näheres Schubert, Die Ausbildung des Planums. — Zeitschr. f. Bauwesen 1889/1891.

unbelasteten Holzschwellengleises auf der Bettung etwa 150 kg. Dazu tritt der im festgelagerten Gleisbett nicht unerhebliche Reibungswiderstand an den Längsseiten der Schwelle, so daß mit einem seitlichen Widerstand der Bettung von etwa 400 kg für 1 m unbelastetes Gleis gerechnet werden kann. M. M. v. Weber findet durch Druckproben den Widerstand einer Holzschwelle gegen seitliches Verschieben in verfülltem, unbelastetem Gleise auf festgelagerter Steinschlagbettung zu durchschnittlich 500 kg. Der stärkste Seitenschub entsteht im unbelasteten Gleise durch Wärmewechsel, wenn die Schienen an freier Ausdehnung gehindert sind. Der seitliche Einheitsdruck p der Bettung (Abb. 48), der erforderlich ist, um die Längsspannung P im Schienenstrange in der Krümmung r das Gleichgewicht zu halten, ergibt sich aus P = p. r. Wird für P der außerordentlich hohe Wert von 36000 kg angenommen, der in festeingespannten Schienen bei einer Wärmezunahme von 30° entstehen würde, so beträgt in der Krümmung von 300 m der Seitendruck p auf 1 m Schienenlänge nur 120 kg, auf 1 m Gleislänge also 240 kg. Die verfüllte Bettung bietet demnach auch bei mangelhafter Ausdehnungsfähigkeit der Schienen weitgehende Sicherheit gegen seitliches Verdrücken des Gleises, nicht jedoch, wie die Erfahrung lehrt, die unverfüllte Bettung. Im belasteten Gleise werden bei guter Gleislage Seitenverschiebung in der Regel schon durch die vermehrten Reibungswiderstände auf der Bettung verhindert. Wo sie dennoch auftreten, lassen sie auf Unregelmäßigkeiten in der Unterhaltung oder auf Fehler in der Gleislage schließen.



Abb. 48. Querschub.

Widerstand gegen Längsschub.

Gegen den Längsschub des Gleises bietet der einzelnen Schwelle nur der schmale Bettungskörper K Abb. 49 Widerstand, dessen Größe unter gleicher Abnahme wie oben auf etwa 300 kg zu schätzen ist. Dazu tritt der Reibungswiderstand der Schwelle auf ihrem Lager mit 150 kg, so daß jeder Schwelle im unbelasteten Gleise ein Widerstand von etwa 450 kg entgegengesetzt wird. Ein Schienensatz von 15 m Länge mit 24 Schwellen würde danach in der Bettung einen Widerstand von 10800 kg finden, der einem Längsschub von 5400 kg in jeder Schiene entspricht. So großer einseitiger Schub kann schon durch eine Wärmezunahme von 4,5° eintreten bei ungleichmäßigem Laschenschluß, abgesehen von den sonstigen im Gleise wirkenden Schubkräften. Auch die Erfahrung bestätigt, daß der Widerstand der Bettung gegen den tatsächlich vorhandenen Längsschub keineswegs immer genügt. Um so notwendiger erscheint es, das Gleisbett in vollem Umfange zum Widerstande heranzuziehen, das heißt, alle Schwellen in der Weise mit den Schienen zu vereinigen, daß sie als seitliche Stützpunkte im Gleisbett voll zur Wirkung kommen. Das wird schon erreicht, wenn die



Abb. 49. Längsschub.

Schiene auf jedem Schwellenlager einen Gleitwiderstand von etwa 250 kg findet.

Verschleiß des Bettungsstoffes.

Verschleiß im Gleisbett entsteht durch Angriffe des Wetters, durch Wechsel der Last, verbunden mit Stoffverschiebungen und inneren Reibungen, ferner durch Schlagen und Gleiten harter Schwellen im Bettungskörper, vor allem aber durch die Tätigkeit der Stopfhacke. Welchen bedeutenden Umfang diese Zerstörungen annehmen, zeigt Schubert in seinen Stopf- und Belastungsversuchen. Er findet, daß durch 1000 Stopfschläge in reinem, grobkörnigem Kiesbett 4,5 l Staub von weniger als 1 mm Korn erzeugt wird. Das bedeutet für eine einzige volle Stopfung einer Schwelle etwa 5 bis 7 l. In hartem Steinschlag ermäßigt sich die Menge bis auf den dritten Teil. Und da der Steinschlag wegen seines festeren Lagers seltener nachzustopfen ist, so schätzt Schubert den Verschleiß in hartem Schotterbett nur auf den siebenten Teil dessen im Kiesbett. Hinsichtlich der Form und Art der Schwellen beobachtete Schubert weiter, daß unter eisernen Kofferschwellen etwa doppelt soviel Bettungsstoff zerstört wird wie unter Holzschwellen oder flachen Eisenschwellen (vgl. Abb. 35), eine Erscheinung, deren Ursache in der gewaltsameren Stopfarbeit und der größeren Reibungsarbeit unter den Kofferschwellen zu suchen ist.

Die Schäden, welche der Verschleiß im Gleisbett mit sich bringt, bestehen nicht allein in dem Verlust an brauchbarem Bettungsstoff, sondern auch in der Verschlechterung des ganzen Bettungskörpers (Abb. 50). Die unter den Schwellen entstehenden Trümmermassen sickern einesteils durch das grobkörnige Gleisbett nach unten, werden aber andernteils durch die auf- und niedergehenden Bewegungen der Schwellen namentlich bei nassem Wetter nach oben gesogen und hier als Schlammkörper abgelagert. Besonders die Hohlform der Kofferschwelle begünstigt diesen Vorgang und bietet in ihrem Innern der Schlammbildung geeignete Stätten. In feinkörnigem Kiesbett dringt der Schlamm überhaupt nicht bis in die untersten Schichten, wird vielmehr voll nach oben abgesogen und beim Rückschlag der Schwellen seitlich herausgepreßt, um sich neben den Schwellen auf der Oberfläche wulstartig abzulagern. Wenn dieses selbsttätige Reinigen auch offenbar seinen Nutzen hat, so geht es doch nicht ohne Lockern und Schwächen des Gleisbettes vor sich. Denn das Gleisbett verliert erheblich an Tragfähigkeit, wenn sein Wassergehalt eine gewisse Grenze, und zwar die gewöhnliche Erdfeuchtigkeit überschreitet. Es vermag aber um so größere Wassermengen in sich zurückzuhalten, je feiner sein Stoff ist.

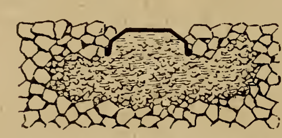


Abb. 50. Zerstörung des Gleisbettes, nach Schubert.

Wassergehalt im Kiesbett.

Um nun zu erfahren, wie groß und wie weit verbreitet diese zurückgehaltenen Wassermassen sind, wurde ein schmaler 50 cm hoher eiserner Kasten (Abb. 51) an der einen Seitenwand mit einer senkrechten Reihe von Bohrlöchern in je 5 cm Abstand versehen und, während die Löcher ver-

schlossen blieben, zunächst mit ausgetrocknetem, feinem Sande von weniger als 1 mm Korngröße gefüllt, der durch Sieben aus dem gewöhnlichen Bettungskies gewonnen war. Nachdem die ganze Schüttmasse vollständig mit Wasser durchtränkt und die verwendete Wassermenge festgestellt war, wurden, von oben beginnend, die Löcher nach und nach geöffnet und die Wassermengen bestimmt, die aus jedem Loch abflossen. Aus dem ersten Loch floß nur ein sehr geringer Teil des darüberstehenden Wassers ab, der feine Bettungsstoff hielt also bis zu einer Höhe von 5 cm über der Grundwasserlage fast den vollen Wassergehalt zurück. Die Wasserabgabe aus der obersten Schicht ist in Abb. 51 durch die Fläche a, Schicht 1 dargestellt. Aus dem zweiten Loch floß erheblich mehr Wasser. Dieses konnte aber nur mit dem Anteil a aus der nächsten, der zweiten Schicht entstammen, weil in gleicher Höhe über dem Grundwasserspiegel stets die gleiche Wasser-

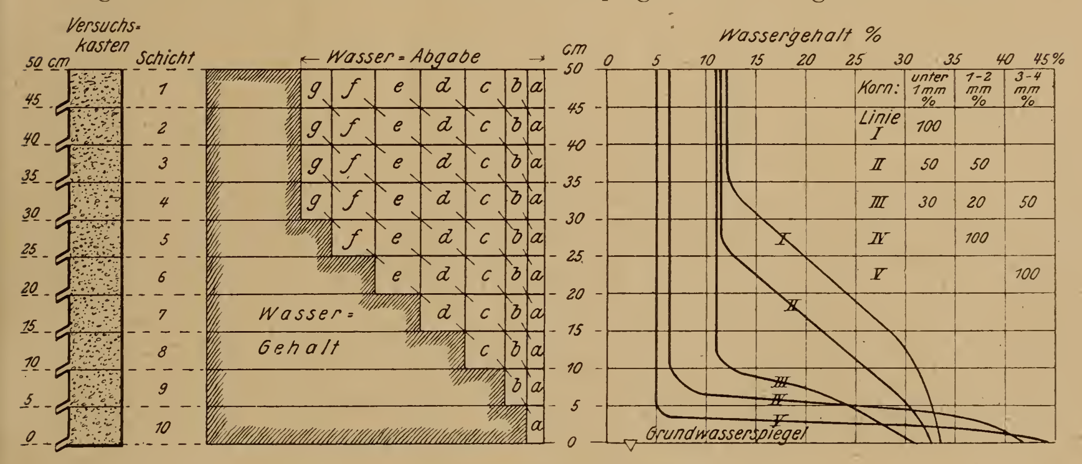


Abb. 51. Wassergehalt im Kiesbett.

menge zurückgehalten wird. Den Rest b mußte daher die erste Schicht, die sich nun in größerer Höhe über dem Grundwasser befand, abgeben. Dementsprechend wurde als Wasserabgabe in Schicht 2 die Menge a und in Schicht 1 die Menge b zugetragen. Noch größer war der Abfluß aus Loch 3. Er verteilt sich in ähnlicher Weise auf die Schichten 3, 2 und 1 mit den Mengen a, b und dem Rest c. Die Abflußmenge steigerte sich noch weiter bis zum Loch 7, also bis zur Tiefe von 35 cm unter der Oberfläche, blieb dann aber in weiteren Tiefen gleich groß. In der Tiefe von 35 cm hörte also der Nachfluß aus der obersten Schicht auf, nachdem diese ihren ganzen Wassergehalt bis auf einen Rest von Bodenfeuchtigkeit abgegeben hatte. Der feine Sand unter 1 mm Korn hat hiernach die Fähigkeit, das Wasser in abnehmender Menge bis zu einer Höhe von etwa 35 cm über dem Grundwasserspiegel zurückzuhalten oder bis dahin aufzusaugen.

Im rechten Teil der Abb. 51 ist für Kies verschiedener Korngröße und verschiedener Mischung die Verteilung des Wassergehaltes über die einzelnen

Schichten nach Öffnen des untersten Abflußloches dargestellt. Wie ersichtlich, ist von größtem Einfluß auf die Saugehöhe im Kiesbett der Gehalt an feinstem Korn unter 1 mm. Die Zeit, welche erforderlich war, um aus den einzelnen Löchern nacheinander die ganze Wassermasse abzuziehen, betrug bei feinstem Korn unter 1 mm etwa zwölf Stunden, während aus gröberem Korn über 1 mm das Wasser in vollem Strahl in kurzer Zeit abfloß. Daraus ist zu schließen, daß hinsichtlich des Wassergehaltes und der Wasserdurchlässigkeit eine Korngröße im Kiesbett bis hinab zu etwa 1 mm unschädlich, die schädliche Wirkung vielmehr erst im feinsten Korn unter 1 mm zu suchen ist. Als Grundwasserspiegel ist die undurchlässige Bahnkrone anzusehen. Ist die Bettung so schwach, daß die Saugehöhe bis nahezu an die Schwelle reicht, so pumpt diese bei jeder Überfahrt die Feuchtigkeit von neuem nach oben, wo sie um so länger verharrt, je undurchlässiger das Gleisbett ist. Bettung mit viel Feingehalt erfordert daher auf undurchlässigem Boden auch aus diesem Grunde eine größere Stärke als reine grobkörnige Bettung. Geringer, als Bodenfeuchtigkeit auftretender Wassergehalt wirkt günstig auf die Tragfähigkeit feinkörniger Bettung.

Wirkung des Frostes.

Wie durch Nässe haben auch durch Frost gewisse Bodenmassen zu leiden. Erdiger undurchlässiger Untergrund, wie Lehm und Ton, treibt schon bei geringer Frostwirkung stark auf, nicht aber sandiger, wenn auch feiner und langsam durchlassender Boden, das Kiesbett also nur dann, wenn es allzusehr durch erdige Bestandteile verunreinigt ist. Sandunterlagen bis zur frostfreien Tiefe genügen daher, um Frostauftriebe unter dem Gleise zu verhüten. Das Kiesbett wird indessen im gefrorenen Zustande undurchlässig, kann daher das Tauwasser nicht abführen. Diese Eigenschaft ist zwar dem Holzschwellengleise weniger schädlich, denn unter der Holzschwelle als schlechtem Wärmeleiter weicht der Frost erst später als zwischen den Schwellen. Das Kiesbett zwischen den Schwellen kann daher das Tauwasser bereits abführen, sobald es sich unter dem Schwellenlager bildet. Die eisernen Schwellen dagegen lösen sich als gute Wärmeleiter sehr bald von der auftauenden Bettung, bevor diese fähig ist, das Tauwasser abzuführen, saugen die Nässe zu sich heran und bilden tage- und wochenlang förmliche Schlammtröge, bis die ganze Bettung frostfrei wird. Sie bedürfen daher durchaus grobkörniger, stets wasserdurchlassender Bettung.

Änderungen der Gleislage.

Alle diese verschiedenartigen Angriffe auf das Gleisbett äußern sich in dauerndem Senken und Verschieben des Gleisgestänges. Der Umfang und die Zeit, in der es geschieht, bilden das sicherste äußere Kennzeichen für die Güte der Unterbettung. Genauere Beobachtungen in dieser Richtung wurden auf einzelne Gleisstrecken von je zwölf Schienenlängen mit verschiedenen Arten des Oberbaues, der Bettung und des Untergrundes, aber mit vollkommen gleicher Betriebsbelastung über längere Zeiträume ausgeführt*). Die dauernden Gleissenkungen wurden an allen Stößen und

*) Näheres: Zeitschr. f. Bauwesen 1904 S. 591.

Schienenmitten in gewissen Zeitabschnitten je nach der Witterung und der etwa vorzunehmenden Stopfarbeit ermittelt. Ein Beispiel zeigt Abb. 52, *1*. Über dem Längsschnitt durch Bettung und Untergrund ist die erste Lage des beobachteten Gleises als gerade Linie I, die spätere Änderung der Lage durch die Linien II, III, IV bezeichnet. Abb. 52, 2 gibt die Senkungslinie des Gleises, d. h. die durchschnittliche Senkung eines begrenzten Gleisstückes in bestimmten Zeitabschnitten. Aus der Darstellung ist zu erkennen, welchen hervorragenden Einfluß die Bodenart des Untergrundes auf die Gleislage bei wechselnder Witterung, namentlich bei tiefgehendem Frost ausübt. Das Gleisbett besteht aus Grubenkies mäßiger Beschaffenheit, der Untergrund aus einer Sandschicht, darunter festgelagertem Tonboden in wechselnder Höhenlage, der stellenweise vom Frost erreicht wurde. Dementsprechend sind die Frostauftriebe der Linie II unter den Schienensätzen 1 bis 3 mäßig,

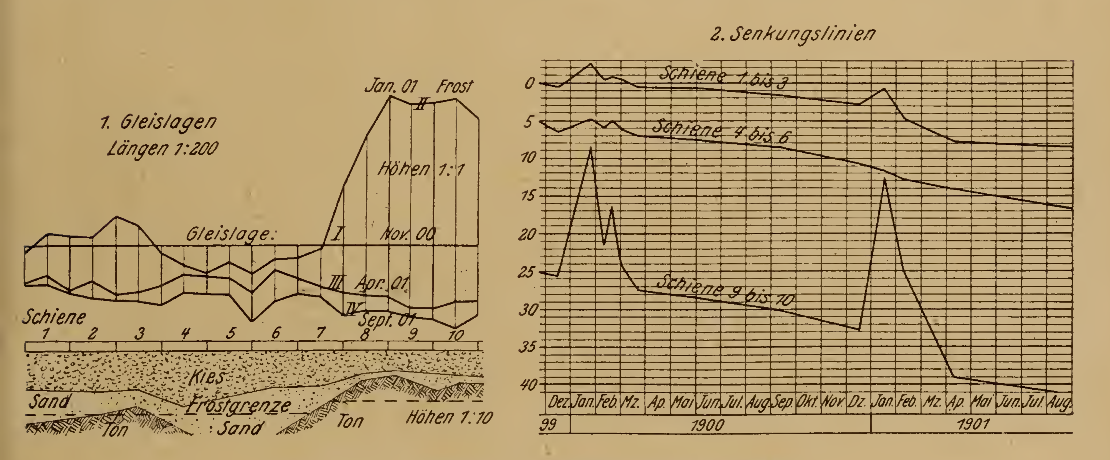


Abb. 52. Änderung der Höhenlage des Gleises.

4 bis 6 kaum merklich, sehr erheblich aber unter den Schienensätzen 8 bis 10. Die plötzlich, unvermittelt auftretenden Frostauftriebe weisen darauf hin, wie außerordentlich hohen Spannungen das Gleis durch Frost ausgesetzt werden kann. Nach dem Frostaufgang gewinnt das Gleis in den Linien III und IV wieder eine ziemlich gleichmäßige Lage. Die Senkungslinien der einzelnen Gleisabschnitte Abb. 52, 2 lassen ersehen, daß in der frostfreien Zeit die Art des Untergrundes von geringer Bedeutung war, daß ferner während der nassen Jahreszeit des Herbstes und Winters das Gleis überall mehr nachgab als im Frühjahr und Sommer. Gleise mit eisernen Querschwellen in Kiesbett waren gegenüber der Witterung viel empfindlicher als Holzschwellengleise, senkten sich auch bei trockenem Wetter stärker, mehr noch das Langschwellengleis. Im Schotterbett waren die Senkungen überall geringer und gleichmäßiger als im Kiesbett, soweit der Untergrund aus durchlässigem, frostbeständigem Boden bestand; sie können auf etwa den dritten Teil der Senkungen im Kiesbett geschätzt werden, wie auch

Schubert aus seinen Sonderversuchen folgert. Als durchschnittliche, im einzelnen allerdings sehr wechselnde Senkungen auf gutem, frostbeständigem Untergrunde wurden beobachtet an Gleisen mit

Holzschwellen in Kiesbett bei 75 cm Schwellenteilung	3 mm	auf	1	Mill. t	Last,
leichten eisernen Kofferschwellen in Kiesbett	9 ,,	,,	1	,,	,,
Langschwellen in Kiesbett	12 ,,	,,	1	,,	,,
Langschwellen in Schotterbett	4 ,,	,,	1	,,	,,

Im Verhalten der Stöße und Schienenmitten ist bemerkenswert, daß im Querschwellengleis die dauernden Senkungen an den Stößen nicht, wie erwartet wurde, im Durchschnitt größer waren als an den Mitten, oft sogar geringer. Die Hauptursache dürfte in der kräftigen Unterstützung der Stöße durch enge Schwellenteilung liegen, denn im Langschwellengleis, das diesen Vorteil nicht genießt, waren trotz der versetzten Lage der Schienen- und Schwellenstöße die Senkungen an den Schienenstößen durchweg auffallend größer als an den Schienenmitten. Die gleiche Erscheinung zeigt sich in alten Querschwellengleisen mit kurzen Schienen, an denen die Stoßknicke und die Form der Schweinsrücken bereits stark ausgeprägt waren.

Die Beobachtungen der seitlichen Gleisverschiebungen führten zu keinem bestimmten Ergebnis, weil es nur selten gelang, die Festpunkte gegen seitliches Verdrücken genügend zu sichern, was um so mehr ins Gewicht fiel, als es sich um sehr geringe, während einer längeren Beobachtungszeit nur wenige Millimeter betragende Maße handelt.

II. Teil.

Der Aufbau des Gleises.

Technische und wirtschaftliche Erfordernisse.

Dem Gleisbau fällt die Aufgabe zu, in der Wahl der Baustoffe, in den Gleisformen und Gleisverbindungen sich den mannigfaltigen Angriffskräften am vorteilhaftesten anzupassen. Die Aufgabe wird um so vollkommener gelöst, je mehr sich die Kenntnis der Kräftewirkungen erweitert und vertieft, und je größer die Sicherheit wird in der Auswahl und Zubereitung der Gleisstoffe. Alle Gleisformen können daher stets nur vorübergehenden Wert beanspruchen und sind dauernder Weiterentwicklung bedürftig.

Außer den rein technischen Erfordernissen aber sind von maßgebender Bedeutung wirtschaftliche Rücksichten, namentlich das Abwägen des Kostenaufwandes für den Bau im Vergleich mit den Unterhaltungskosten und der Lebensdauer des Gleises. Aber gerade die Beurteilung dieser wirtschaftlichen Werte, ihr Aufbau auf sicheren, zahlenmäßigen Grundlagen bietet die größte Schwierigkeit. Weder die Statistik noch die sonstigen Erfahrungen und Beobachtungen geben einen klaren Einblick in die tiefgreifende Bedeutung, welche der Ausbau des Gleises im einzelnen und der Umfang und die Art der Gleisunterhaltung in den wirtschaftlichen Ergebnissen des Eisenbahnbetriebes einnimmt. Treten hierzu noch allgemein wirtschaftliche Rücksichten, wie weitgehendes Beschaffen und Zubereiten der Baustoffe im Inlande, Rücksichtnahme auf den zeitigen Arbeitsmarkt, so ist ersichtsich, auf wie wechselvollen Grundlagen die wirtschaftliche Bewertung irgendeiner Oberbauart steht. Im allgemeinen aber geht wirtschaftlicher Wert Hand in Hand mit technischer Vollkommenheit. Denn den hauptsächlichsten Maßstab für technische Vollkommenheit bilden eben Werte wirtschaftlicher Art, wie Dauerhaftigkeit, mäßige Beschaffungs- und Unterhaltungskosten, zweckmäßiges Zusammenfügen mit anderen Bauteilen und Zusammenwirken mit den Fahrzeugen.

Mit Recht ist man bestrebt, den Umfang der Gleisunterhaltung nach Möglichkeit einzuschränken, selbst mit einem Mehraufwand für die Neubeschaffung, der rein zahlenmäßig als wirtschaftlich ungünstig erscheinen könnte. Denn je geringeren Arbeitsaufwand die Unterhaltung erfordert,

desto besser ist der dauernde Zustand des Gleises, zum Vorteil nicht nur für die Lebensdauer des Gleises selbst, sondern auch für den Zustand der Fahrzeuge, desto geringer aber auch der Aufwand an Kosten und Zeit für die Aufsicht und die allgemeine Verwaltung, Einflüsse, die sich der zahlenmäßigen Rechnung in der Regel entziehen. Von außerordentlichem Einfluß auf die Gleisunterhaltung ist gleichmäßige Widerstandsfähigkeit des Gleises in allen seinen Bestandteilen und Verbindungen gegenüber den angreifenden Kräften. Der Gleisbau hat daher dem Gleise einen langen Ruhezustand zu verbürgen und Eingriffe jeder Art für lange Zeit auszuschließen. Daneben ist auf größte Einfachheit und Handlichkeit der Gleisverbindungen besonderer Wert zu legen.

Inwieweit und mit welchen Mitteln der Gleisbau in seinem jetzigen Stande den Anforderungen gerecht zu werden vermag, wird aus näherer Betrachtung der gebräuchlichsten Formen und Gleisstoffe in den Hauptverkehrsgleisen zu ersehen sein. Gleise untergeordneter Bedeutung werden nach gleichen Grundsätzen, jedoch je nach der geringeren Belastung einfacher auszugestalten sein.

Schienen.

Schienenstoff

Die Anforderungen an die Eigenschaften des Schienenstoffes sind durch die Angriffsart der äußeren Kräfte vorgeschrieben, namentlich durch die dynamischen Angriffe und die Reibungstätigkeit zwischen Rad und Schiene. Zu fordern ist hohe Festigkeit des Stoffes, um den erhöhten dynamischen Spannungen standzuhalten, große Elastizität, um die Stoßwirkungen abzuschwächen, Dehnbarkeit des Stoffes auch über die Elastizitätsgrenze hinaus zum Schutz gegen Brüche bei Überanstrengungen und schließlich ein gewisser Härtegrad an den Angriffsstellen zum Verhüten übermäßigen Verschleißes. Saller verlangt, um die Stoßwirkungen abzuschwächen, für Baustoffe im Gleise große Elastizität, große Festigkeit an der Elastizitätsgrenze und geringes Eigengewicht. Diesen vielseitigen Ansprüchen gerecht zu werden, dabei auch die zur Verfügung stehenden Roherze in weitestem Maße nutzbar zu machen, ist besondere Aufgabe der Hüttentechnik. Sie hat unter vollem Beherrschen der Stoffbereitung die dem Roheisen beigemengten schädlichen Stoffe wie Schwefel, Phosphor, Sauerstoff zu entfernen, nützliche wie Nickel, Mangan, Silizium, besonders Kohlenstoff in gewollter Menge zu belassen oder zuzuführen. Nachdem durch das Beßemer-Verfahren die Massenherstellung von Stahl gefunden war, durch das Thomas-Verfahren auch phosphorhaltige Erze nutzbar gemacht und durch das Siemens-Martin-Verfahren weitere Verfeinerungen im Zubereiten des Stahles gewonnen waren, kam es darauf an, diejenigen Eigenschaften des Stahles in chemischer und physikalischer Hinsicht genauer zu erforschen, die ihn gerade für Schienenstahl am geeignetsten machen. Das kann natürlich nur in engster

Fühlung mit den Ergebnissen im Betriebe geschehen, erfordert langdauernde, außerordentlich sorgfältige Beobachtungen. Aber auch die stoffliche Beschaffenheit der Radreifen kommt in Frage, denn es muß schließlich als Endziel angesehen werden, den Verschleiß sowohl der Schienen als der Radreifen in möglichst engen Grenzen zu halten und gegenseitig in der vorteilhaftesten Weise abzustimmen. Gegenwärtig werden Zerreißfestigkeiten des Schienenstahles bis 70 kg/cm² verlangt neben großer Zähigkeit, d. h. Dehnbarkeit in kaltem Zustande, und eine gewisse Härte, die u. a. aus dem Widerstand beim Einpressen von Stahlkugeln geschätzt wird. Im übrigen ist die Frage des Schienenstoffes noch in vollem Fluß. Verschiedene Versuche mit sogenanntem verschleißfesten Stahl haben nicht den Erwartungen entsprochen. In neuerer Zeit ist versucht worden, die Schienen nicht aus einheitlichem Stoff, sondern der Natur der Angriffe entsprechend, wie auch Saller empfiehlt, im oberen Kopfteil aus härterem, verschleißfesterem Stahl, im übrigen aus weicherem, elastischerem Stahl zu fertigen*). Welcher praktische Wert diesem Verfahren beizulegen ist, wird erst längere Erfahrung lehren können.

Der zweckmäßigste Querschnitt der Schiene als eines liegenden Trägers auf engen Stützpunkten ist die I Form, die mit geringstem Stoffaufwand größte Tragfähigkeit verbindet. Diese Grundform wurde daher schon früh allgemein eingeführt, dann im Laufe der Zeit mit der Vervollkommnung der Walztechnik mehr und mehr ausgebildet. Dabei mußte der obere Flansch als Schienenkopf der Form des Radreifens angepaßt bleiben, seine Breite aber in gewissen Grenzen gehalten werden, um das Abrollen der Kegelräder nicht zu erschweren. Die Höhe des Schienenkopfes ergab sich aus der geforderten Tragfähigkeit der Schiene mit Rücksicht auf die Abnutzung im Betriebe. So entstand eine ziemlich gleichartige Kopfform, während in den übrigen Teilen der Schiene eine freiere Entfaltung von Formen möglich war. Der untere Flansch erhielt ursprünglich die gleiche Kopfform (Abb. 53, 6), einerseits aus walztechnischen Rücksichten, anderseits auch in der Absicht, nach Abnutzung des einen Kopfes den andern nach oben zu kehren. Wenn auch diese Absicht nie verwirklicht werden konnte wegen des ungleichmäßigen Verschleißes der Schienen am Lager und an den Laufflächen, wenn auch die an sich nicht standfähige Schiene besonderer schwerer Stützkörper bedurfte, und wenn auch die fortschreitende Walztechnik mehr und mehr freie Hand in der Formgebung bot, so hat sich doch die Doppelkopfschiene bis zum heutigen Tage vielfach erhalten, namentlich fast allgemein in ihrem Geburtslande England. Die Breitfußschiene bildet ihren Fuß als breiten Trägerflansch aus und gewinnt damit den großen Vorteil vollkommener eigener Standsicherheit und geringeren Stoffaufwandes bei gleicher Tragfähigkeit. Sie wurde wegen ihrer Vorzüge die bei weitem vorherrschende Form und verdrängte oft die bereits eingebürgerte Doppelkopfschiene.

Schienenformen.

*) Verfahren Melaun.

Bei dem Anwachsen der Verkehrslast kam es darauf an, die Tragfähigkeit, also das Widerstandsmoment der Schiene zu erhöhen, daneben aber den Stoff besser als vorher auszunutzen und dort zu ersparen, wo er für die Tragfähigkeit entbehrlich ist. Die Schienenhöhe wurde vergrößert, die Stegstärke verringert. Mit der Höhe wuchs in verstärktem Maße das Trägheitsmoment und die Starrheit der Schiene, mit ihr die Fähigkeit, die Last auf eine größere Anzahl von Schwellen zu verteilen, also Schwelle und Gleisbett zu entlasten. Dieser letztere Umstand ist um so bedeutungsvoller, als weitgehende Entlastung des Gleisbettes das wirksamste Mittel bildet, dauerhafte Gleislage zu erhalten, wenn auch nicht zu verkennen ist, daß die starre Schiene unter den dynamischen Angriffen mehr zu leiden hat als die elastisch nachgiebigere. Hier die richtige Mitte zu finden, bleibt Sache der Beobachtung.

In Abb. 53, 1 bis 5 sind die Querschnitte einiger der schwersten jetzt gebräuchlichen Breitfußschienen dargestellt. Die obere Kopffläche erhält

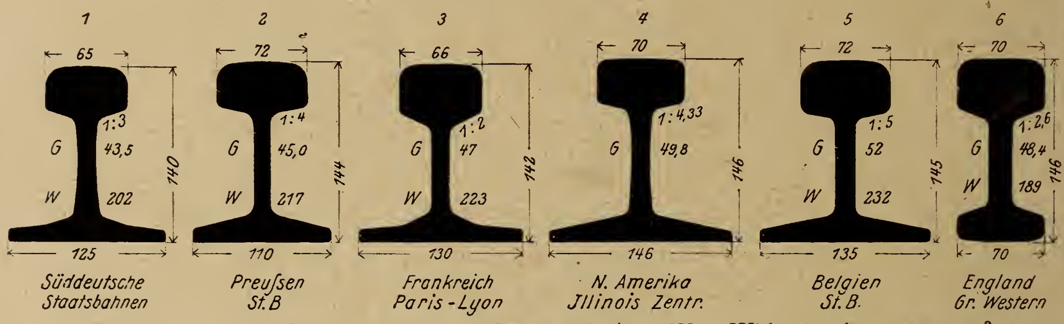


Abb. 53. Schienenformen 1 : 6. G = Gewicht kg/m. W = Widerstandsmoment cm³.

im Querschnitt meistens eine nach oben gewölbte Form, zunächst aus walztechnischen Gründen. Sie trägt aber auch dazu bei, beim Abrollen der Räder auf der schmalen Lauffläche die Reibungswiderstände zu verringern. Da jedoch dieser Vorteil durch gegenseitiges Abschleifen und Anpassen der Laufflächen von Rad und Schiene mit der Zeit verschwindet, auch die Walztechnik nicht mehr an die gewölbte Kopfform gebunden ist, ging man in neuerer Zeit mehrfach zur ebenen, für den Verschleiß der Radreifen günstigeren Kopfform über. Für die Wahl der Fußbreite kommt in Frage die zweckmäßige Ausnutzung des Stoffes, die wie bei dem gewöhnlichen I Träger zu einem bestimmten Verhältnis der Schienenhöhe zur Fußbreite führt, sodann die Standsicherheit der Schiene, die Druckverteilung auf die Schwelle und die Starrheit der Schiene gegen seitliches Verbiegen. Standsicherheit und Druckverteilung stehen in gewissem Zusammenhange, spielen aber eine ausschlaggebende Rolle nur bei unmittelbarer Lagerung der Schienen auf Holzschwellen. Wo diese Bauart vorherrschte, wie auf nordamerikanischen Bahnen (Abb. 53, 4), erreicht der Schienenfuß die größte Breite; während man sich auf Bahnen, die früh zu Unterlagplatten übergingen, wie in

Preußen (Abb. 53, 2) und Österreich, mit schmalerem Fuß begnügte. Die seitliche Starrheit der Schiene hat für die Querlage des Gleises die gleiche Bedeutung wie die senkrechte Starrheit für die Höhenlage. Sie verteilt den Querschub auf eine größere Anzahl Schwellen, erhöht daher die seitliche Widerstandsfähigkeit des ganzen Gleises, schützt namentlich vor kurzen seitlichen Verdrückungen. Diesen offenbaren Vorteilen steht gegenüber der schwierigere Einbau seitlich starrer Schienen in Gleisbögen, namentlich leichtes Entstehen seitlicher Stoßknicke und erhöhte Ansprüche an die Laschenverbindung. Durch Biegen der Schienen vor dem Verlegen kann man zwar diese Nachteile vermeiden, beeinträchtigt aber die freie Verwendbarkeit der Schienen für spätere Zeit. Man hat sich daher bis jetzt wenig mit diesem Verfahren befreundet, würde aber bei weiterem Anwachsen der Fußbreite, die für die Querlage des Gleises von unverkennbarem Vorteil ist und keine walztechnischen Schwierigkeiten bietet, der Frage näher treten müssen. Da den Schienen immerhin ein gewisses Maß seitlicher Biegsamkeit verbleibt, so würde schon eine einzige Form von Bogenschienen mittlerer Krümmung gute Dienste leisten.

Die Form der unteren Kopffläche und der oberen Fußfläche der Schienen steht in engem Zusammenhang mit der Form der Laschen, soll daher später bei den Stoßverbindungen besprochen werden.

Die Länge der Schienen wird weniger durch das Walzverfahren als durch sonstige Rücksichten beschränkt. Die offenbaren, auf Verminderung der Stoßstellen beruhenden Vorteile langer Schienen werden bei einer gewissen Grenze aufgehoben durch die schwierige Handhabung übermäßig schwerer Schienen, ferner aber durch die notwendige Vergrößerung der einzelnen Stoßlücken mit allen ihren verderblichen Folgen für das Verhalten der Stöße. Als angemessene Schienenlänge gilt zur Zeit das Maß von etwa 15 m, über das hinauszugehen nur in besonderen Fällen, etwa zur Vermeidung von Stößen auf Planübergängen oder auf kurzen eisernen Brücken, für nötig gehalten wird. Zum Längenausgleich in Gleisbögen dienen Schienen von 4 bis 12 cm geringerer Länge im Innenstrang.

Die in neuerer Zeit erhöhten Ansprüche an die Herstellung der Schienen richten sich auch auf genaueres Innehalten der Maße. Für die preußischen Bahnen sind Höhenunterschiede gegen das vorgeschriebene Maß in den Grenzen von nur 0,5 mm zulässig.

Schwellen.

Als Schwellenstoff wird fast ausschließlich Holz oder Eisen verwendet, versuchsweise auch Eisenbeton. Wohl in keiner Einzelfrage des Gleisbaues stehen die Meinungen einander so unvermittelt gegenüber als im Bewerten der Holz- und Eisenschwellen, wobei nicht selten Vorurteil oder Sonderinteresse mehr in den Vordergrund treten, als der stetigen und sachlichen Schwellenstoff.

Entwicklung der Frage dienlich ist. Um den wirtschaftlichen Vorzug der einen oder andern Art nachzuweisen, ist namentlich die Statistik ins Feld geführt. Diese bringt in ihrer jetzigen Form wohl eine Fülle wertvoller zahlenmäßiger Tatsachen, ohne indessen auf Ursache und Wirkung näher einzugehen, und ohne die zufälligen, auf offenbaren und leicht zu vermeidenden Fehlern der Bauart beruhenden Ergebnisse genügend abzutrennen von den notwendigen, an der Natur des Stoffes haftenden Erscheinungen. Sie gibt daher kein treffendes Bild von den Werten, die in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht den hölzernen und eisernen Schwellen an sich anhaften, solange sie nicht Hand in Hand geht mit gründlichen, auf breitester Grundlage gestützten Beobachtungen, die über alle im ganzen Gleisgefüge tätigen Wechselwirkungen und ihre Ursachen klaren Aufschluß geben. Aus den bisherigen Erfahrungen werden als hauptsächlichste Vorzüge der Holzschwellen bezeichnet ihre größere Tragfähigkeit, die tiefe Lage ihrer Stützfläche, in welcher die Bettung weniger durch die Erschütterungen beeinflußt und wirksamer gehindert wird seitlich auszuweichen, ihre Elastizität und größere Schwere, welche die Stoßwirkungen im Gestänge und im Gleisbett abschwächen und dauerhaftere Gleislage verbürgen, ihre geringere Härte, die den Bettungsstoff wenig angreift, leichteres Unterstopfen, leichteres Bearbeiten und Anpassen an verschiedene Arten der Schienenlagerung, geringere Ansprüche an die Beschaffenheit der Bettung, schließlich Ersparnis an Beschaffungs- und Gleisunterhaltungskosten gegenüber den Eisenschwellen. Als Vorzüge der Eisenschwellen werden bezeichnet größere Lebensdauer, wirksamere Querverbindung des Gleises, Erhalten der Spurlage und Querneigung der Schienen, größere Haftfestigkeit der Verbindungsstücke und straffere Verbindung des ganzen Gestänges, schließlich ihr größerer Altwert*). Diese angeblichen Vor- und Nachteile sind aus den bisher üblichen Bauarten der Gleise, zum Teil durch irrtümliche Schlußfolgerungen abgeleitet, beruhen aber keineswegs so allgemein auf der Natur des Schwellenstoffes an sich, lassen sich vielmehr durch verbesserte Bauarten mehr oder weniger ausgleichen. Nur die erwiesenen Nachteile, die durch keine geeigneten Mittel zu beheben sind, sondern unvermeidlich dem Schwellenstoff anhaften, können in den Vergleich eingeführt werden. Daneben werden stets wirtschaftliche Rücksichten einhergehen, die sich aus der Gelegenheit zum Beschaffen der Rohstoffe Holz und Eisen ergeben und oft ausschlaggebender sind wie die technischen Vorzüge und Mängel.

Die eiserne Schwelle wurde besonders in Deutschland, namentlich in Preußen, Baden, Württemberg und Oldenburg, ausgestaltet und nach und nach in steigendem Umfang eingeführt. Auch in der Schweiz wird sie viel verwendet, wenig in Österreich und Frankreich, während die übrigen Länder

*) Nach Biedermann: „Der Oberbau auf hölzernen und eisernen Schwellen" 1915 ist nach den bisherigen wirtschaftlichen Ergebnissen den eisernen Schwellen kein Vorzug vor den hölzernen einzuräumen.

es bei einigen Versuchen bewenden ließen. Im ganzen Auslande wird die Holzschwelle entschieden bevorzugt. Die ausgedehnte Verwendung eiserner Schwellen in Tropengebieten ist durch die schnelle Zerstörung des Holzes unter dem Angriff von Klima und Insekten geboten.

Zubereitung der Holzschwellen.

Zu hölzernen Schwellen wird im wesentlichen Eichen-, Buchen- und Nadelholz benutzt, letzteres in Deutschland überwiegend als Kiefernholz. Jede Holzart erfordert nach ihren besondern physikalischen Eigenschaften und ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Fäulnis eigene Behandlung. Fast alle Schwellen werden jetzt zum Schutz gegen schnellen Verfall mit erhaltenden Stoffen getränkt, früher mit Kupfervitriol, Zinkchlorid und Teeröl, auch gemischt, in neuerer Zeit in Deutschland fast ausschließlich mit Teeröl nach dem Rüpingschen Verfahren, nach welchem der Tränkstoff zunächst bis zur vollen Sättigung in das Holz eingetrieben, sodann zum Teil wieder entzogen wird. Das gleiche Verfahren wurde in fast allen Ländern Europas, auch in Nordamerika eingeführt. Es erfordert für eine Schwelle von 0,1 m^3 Rauminhalt aus Eichenholz etwa 8 kg, aus Buchenholz 16 kg, aus Kiefernholz eine mittlere Menge von Tränkstoff. Der Erfolg des Tränkens bildet in erster Linie den Wertmesser für Holzschwellen, denn von ihm allein hängt ihre Lebensdauer ab, sobald dafür gesorgt ist, daß der erreichte Gewinn nicht durch frühzeitige mechanische Zerstörungen vereitelt wird, daß also die Schwellen tatsächlich gebrauchsfähig bleiben, bis sie dem natürlichen Verfall durch Fäulnis unterliegen.

Die eichenen Schwellen sind bei ihrer großen Härte am widerstandsfähigsten gegen alle äußeren Angriffe. Sie widerstehen auch schon in rohem Zustande längere Zeit der Fäulnis, nehmen aber den Tränkstoff nur innerhalb der dünnen Splintschicht auf, nicht innerhalb des dicken, gerbstoffhaltigen, an sich aber widerstandsfähigeren Kernes. Eine nachteilige Eigenschaft der Eichenschwellen liegt in den häufigen Rissebildungen, die der Nässe freien Eintritt zu den inneren ungeschützten Stellen gestatten, außerdem den sichern Sitz der Befestigungsmittel stören. Sie sind daher keineswegs dauerhafter als gut getränkte andere Hölzer und werden in Deutschland bei ihrem hohen Preise nur dort verwendet, wo es auf Widerstand gegen besonders hohe Angriffe ankommt, wie auf außergewöhnlich stark belasteten Strecken, in scharfen Gleiskrümmungen und in Weichen.

Das Buchenholz hat ähnliche Härteeigenschaften wie Eichenholz, aber sehr geringe Dauerhaftigkeit in rohem Zustand. Es erhält seinen Wert als Schwelle daher lediglich durch wirksames Tränken, das durch die Eigenschaft des kernlosen Buchenholzes, den Tränkstoff begierig bis ins Innerste aufzunehmen, in hohem Maße begünstigt wird. Es reißt indessen leicht bei schnellem Austrocknen und beim Lagern und fordert in dieser Hinsicht besondere Sorgfalt. Die zum Verhüten von Rissen oft verwendeten ∾ Haken oder Schrauben bilden, wie auch bei Eichenschwellen, nur unvollkommene Hilfsmittel. Bei ihrem geringeren Preis und ihrer großen Dauerhaftigkeit kann

die Buchenschwelle überall als voller Ersatz für Eichenschwellen eintreten. Sie ist in Frankreich seit jeher in Gebrauch, in neuerer Zeit, begünstigt durch die reichen Buchenbestände, auch in Deutschland mehr und mehr in Aufnahme gekommen.

Im Kiefernholz kommen die wesentlich verschiedenen Eigenschaften des inneren Kernholzes und des äußeren Splintholzes noch mehr zur Geltung als im Eichenholz. Das weiche Splintholz ist an sich wenig dauerhaft gegen Fäulnis, nimmt aber den Tränkstoff voll auf, im Gegensatz zu dem harzreichen Kernholz, das dem Eindringen des Tränkstoffes widersteht, dagegen von Natur sehr dauerhaft ist. Besondere Vorzüge der kiefernen Schwellen, denen sie namentlich ihre überwiegende Verwendung in Deutschland verdanken, sind große Elastizität, gerader Wuchs, geringe Rissebildung und ihr niedriger Preis gegenüber dem Hartholz. Ihr geringerer Widerstand gegen mechanische Angriffe erfordert allerdings größeren Aufwand für die Schienenlager und Befestigungsmittel.

Liegedauer der Holzschwellen.

Die Liegedauer der mit Teeröl getränkten Schwellen wurde aus der Statistik des internationalen Eisenbahnkongresses im großen Durchschnitt ermittelt für Eichenholz auf 18 bis 25 Jahre, Buchenholz 20 bis 30 Jahre, Kiefernholz 15 bis 20 Jahre. Diese Durchschnittszahlen sind indessen auf die Dauerhaftigkeit des getränkten Holzes an sich nicht ohne weiteres anwendbar, da sie alle Abgänge mit enthalten, die durch frühzeitige mechanische Abnutzung oder durch Ausbau noch brauchbarer Schwellen entstanden. Genauere Beobachtungen auf bestimmten Strecken führten zu ganz erheblich günstigeren Ergebnissen. Auf der Strecke Neustettin—Posen lagen nach 34 Jahren noch 40 % der ersten mit Zinkchlorid und Teeröl getränkten kiefernen Schwellen im Gleise, auf der Strecke bei Rügenwalde nach 31 Jahren noch 82 % der gleichartigen Schwellen, von den Buchenschwellen der Strecke Saarburg—Alberschweiler nach 14 Jahren noch 96 %, auf Strecken der französischen Ostbahn nach 24 Jahren noch 88 %, im Elsaß nach 28 Jahren noch 86 %. Auf Grund solcher Erfahrungen wird die durchschnittliche Liegedauer guter getränkter Buchenschwellen in Frankreich auf durchschnittlich mehr als 30 Jahre geschätzt. Der beobachtete große Unterschied in der Liegedauer ist erklärlich aus der verschiedenen Behandlungsweise der Schwellen, vor allem aber aus den mechanischen Abnutzungen, durch die nach Angabe von Schneidt in älteren Gleisen etwa 70 % des ganzen Schwellenbestandes vorzeitig unbrauchbar wurde. Dem Gleisbau und der Gleisunterhaltung erwächst hieraus die wirtschaftlich höchst wichtige Aufgabe, die natürliche Dauerhaftigkeit des Holzes voll auszunutzen, frühzeitigen örtlichen Zerstörungen aber durch zweckmäßige Verbindungen der Schienen mit den Schwellen vorzubeugen.

Von andern Holzarten werden in überseeischen Ländern namentlich Teakholz, Quebracha, Sarra, Edelkastanie, in Österreich auch Lärchenholz verwendet. Das europäische Tannenholz ist wenig für Schwellen geeignet

wegen seiner geringen Härte und der sehr beschränkten Aufnahme von Tränkstoff.

Form der Holzschwellen.

Die Form der Holzschwelle ist als gerader Balken mit gleichbleibendem Querschnitt durch den Wuchs des Holzes vorgezeichnet. Um das Stammholz vorteilhaft auszunutzen und an Zubereitungskosten zu sparen, werden in der Regel nur die unteren Lagerflächen voll ausgebildet, die Seiten- und Oberflächen aber mehr oder weniger in ihrem natürlichen Zustande belassen, wie Abb. 54 zeigt. Die nötige Schwellenbreite steht in Wechselbeziehung zur Schwellenteilung und zur Tragfähigkeit der Bettung. Sie könnte geringer sein auf rauhem Bettungsstoff, ebenso bei enger Schwellenteilung, durch welche die einzelne Schwelle entlastet, daneben aber die Tragfähigkeit des Gleisbettes gestärkt wird. Anderseits ist indessen eine gewisse geringste Grenze in der Breite erforderlich, um die Schienen sicher zu lagern und zu befestigen, auch ein bestimmtes Einheitsmaß wünschenswert, um im Verbrauch der Schwellen freie Hand zu behalten. Für die Hauptverkehrsstrecken in Deutschland hat sich daher fast allgemein eine feste Schwellenbreite von etwa 26 cm eingebürgert, während der größeren oder geringeren Verkehrslast durch die Wahl des Schwellenabstandes Rechnung getragen wird. Die Höhe der Holzschwelle wird auf etwa 16 cm bemessen, ein Maß, das mit Rücksicht auf die Schwellenbefestigung nur wenig unterschritten werden kann.. Die Schwelle erhält hiermit einen für ihre Beanspruchung sehr reichlichen Querschnitt, ist daher nur mäßigen Biegespannungen ausgesetzt. Für die Länge der Schwelle wurde das von Zimmermann berechnete Maß von 2,70 m als zweckmäßig anerkannt und von den meisten deutschen und österreichischen Hauptbahnen übernommen. Auch England verwendet Schwellen gleicher Abmessungen, vielfach aber Stoßschwellen von Breiten bis 31 cm. Besonderer Wert dürfte auf durchaus gleiche Maße der unteren Schwellenfläche zu legen sein, weil schon geringe Verschiedenheiten im Bettungsdruck die Gleislage nachteilig beeinflussen. In dieser Hinsicht erscheint es daher empfehlenswert, die Schwellen durch seitliches Bearbeiten auf durchweg gleichmäßige Breite zu bringen wie in Abb. 54, 1.

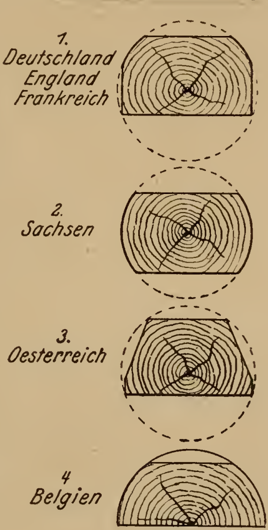


Abb. 54. Holzschwellen 1 : 15.

Die untere Lagerfläche der Holzschwelle ist in der Regel eben und wagerecht. In dieser Form überträgt sie den Druck am vorteilhaftesten auf das Gleisbett und festigt es gegen seitlichen Auftrieb, zu dem besonders das Kiesbett neigt. Im Schotterbett aber, das gegen Auftrieb widerstandsfähiger ist, kann eine vollständig oder nur an den Kanten abgeschrägte Lagerfläche dadurch von Nutzen sein, daß sie den Bettungsdruck nach unten mehr verbreitert und in geringerer Tiefe ausgleicht als die wagerechte Lager-

fläche. In Abb. 55 ist die Druckwirkung abgeschrägter Schwellen unter sonst gleichen Voraussetzungen wie in Abb. 43 dargestellt und gezeigt, wie schon in der Tiefe von 27 cm unterhalb der Schwelle der Bettungsdruck voll ausgeglichen wird. Es fehlt daher nicht an Vorschlägen, die Holzschwellen mit der Waldkante oder der runden Seite nach unten zu verlegen, und hiermit zugleich in der breiten nach oben gekehrten Kernholzfläche der Kiefernschwellen ein dauerhafteres Lager für die Schienen zu gewinnen. Inwieweit diese Voraussetzungen zutreffen, und welche anderweitigen Nachteile diese Lagerungsweise etwa mit sich bringt, muß längerer Erfahrung vorbehalten bleiben.

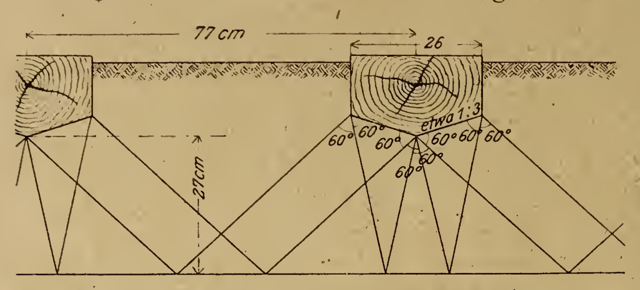


Abb. 55. Bettungsdruck unter schrägem Schwellenlager.

Eiserne Schwellen.

Die eiserne Schwelle wird im Walzverfahren in der Regel aus Flußeisen gefertigt, selten aus Stahl, der leichter durch Rost angegriffen wird. In ihrer Form trat von Anfang an mehr als bei der Holzschwelle das Bestreben in den Vordergrund, den kostbareren Stoff zweckmäßig auszunutzen, mit dem geringsten Stoffaufwand also die notwendige, durch die Last gebotene Tragfähigkeit und die durch die Widerstandsfähigkeit der Bettung bestimmte Größe der Lagerfläche zu gewinnen. Dieses Bestreben wurde anfangs übertrieben, es wurde dem unvermeidlichen Verschleiß und den zunehmenden Ansprüchen des Betriebes von vornherein nicht genügend Rechnung getragen, so daß die ersten Formen sich sehr bald zu schwach erwiesen (Abb. 56, 1) und unverbraucht in großen Mengen aus dem Gleise entfernt werden mußten.

Die für kurze Träger sonst zweckmäßige ⊥Form hätte zu einem Querschnitt von großer Breite und geringer Höhe geführt, der abgesehen von Walzschwierigkeiten nicht mehr den statischen Vorteil bietet wie die hohe und schmale Form. Nur in Nordamerika wurde diese Schwellenform als Carnegie-Schwelle in größerem Umfange versuchsweise eingebaut (Abb. 57), jedoch mit wenig befriedigendem Erfolg. Sonst fand von vornherein fast allgemein die Kofferschwelle Eingang (Abb. 56), deren Decke zugleich das Schienenlager und die hauptsächlichste Stützfläche auf der Bettung bildet. Der hervorragendste, ihre weite Verbreitung fördernde Vorzug dieser Form ist ihr sicheres Lager im Gleisbett. Indem sie den Bettungskörper in ihrem Hohlraum fest zusammenfaßt, schützt sie in gleicher Weise sich selbst gegen seitliches Verschieben wie die Bettung gegen seitliches Verdrücken unter der Lagerfläche. Freilich ist die Form zur Aufnahme der statischen und, wie Saller nachweist, auch zur Aufnahme der stoßenden Last nicht vorteilhaft, auch erfordert das Unterstopfen viel Sorgfalt, wenn es gelingen soll,

allen Schwellen, wie es durchaus nötig ist, ein gleichmäßig festes Lager zu bereiten, um so mehr, als nur grober scharfkantiger Bettungsstoff verwendbar ist. Nachdem die langjährige Erfahrung dargetan hatte, daß diese Schwellen gleichmäßiger und fester liegen, wenn sie nur mit der Decke, nicht auch mit einem unteren Flansch, wie die Vautherin-Schwelle Abb. 56, 1, auf der Bettung abgestützt werden, so wurde bei der weiteren Entwicklung des Schwellenquerschnittes jede untere Tragfläche vermieden, an deren Stelle aber meistens eine nach unten keilförmige Wulst angeordnet, um die Tragfähigkeit der Schwelle zu stärken und die unteren Schwellenkanten gegen schädlichen Verschleiß und gegen Verbiegen zu schützen.

Unter den verbreiteten Schwellenarten haben die kräftigsten Querschnittformen die badische Schwelle (Abb. 56, 3), die württembergische, oldenburgische und Gotthard-Schwelle (Abb. 56, 5), eine weniger kräftige Form die preußische Schwelle (Abb. 56, 2). Sie wird in neuerer Zeit längs

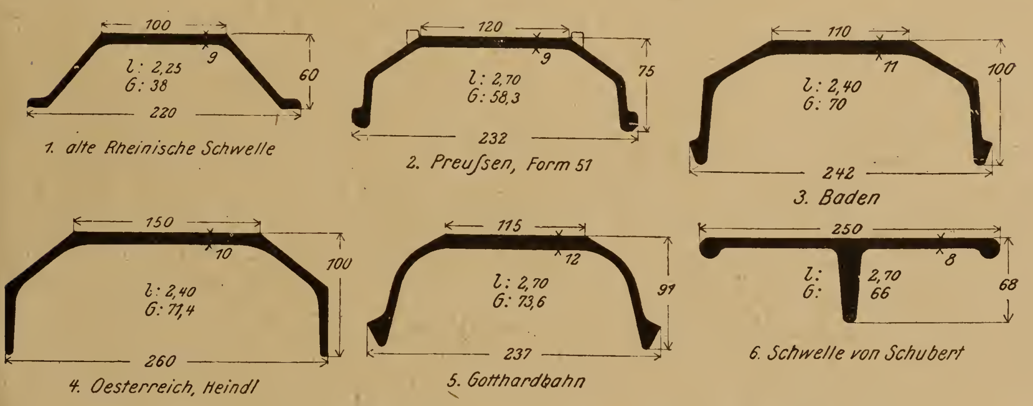


Abb. 56. Eiserne Querschwellen 1 : 6. l = Länge (m), G = Gewicht (kg).

der Decke mit zwei Kopfleisten ausgerüstet, die den Querschnitt verstärken, daneben der Unterlagplatte sichere seitliche Stützen bieten sollen. Der Querschnitt der eisernen Schwellen wird in der Regel unverändert über die ganze Schwellenlänge geführt, an den Enden aber die Schwellendecke nach unten bis zur Schwellenunterkante oder tiefer niedergebogen, um das Gleis gegen Querverschiebung zu sichern. Anderseits hielt man es für vorteilhaft, die Schwelle in ihrer Mitte schwächer zu unterstützen als unterhalb der Schienen, um unter allen Umständen ihre volle und feste Lage unter der Laststelle zu bewahren. Die Schwellen wurden in der Mitte schwächer unterstopft als an den anderen Stellen, oder ihr Querschnitt wurde in der Mitte eingezogen, wie an der Postschen Schwelle. Dergleichen Maßregeln sind indessen nur gerechtfertigt bei geringen Schwellenlängen, nicht aber bei den in neuerer Zeit auf Hauptstrecken üblichen größeren Längen von etwa 2,70 m, die aus der Voraussetzung entstanden sind, daß die Schwelle in ihrer ganzen Länge gleichmäßig gelagert ist. Hiermit ist aber der weitere sehr

hoch anzuschlagende Vorteil verbunden, daß die ganze verfügbare Bettungsfläche in vollstem Maße zur Lastaufnahme ausgenutzt, der Bettungsdruck also vermindert wird.

Um die eisernen Schwellen leichter und sicherer unterstopfen zu können und zugleich dem Bettungsstoff beim Stopfen festeren Halt zu geben, ersetzt Schubert die Seitenwände der Kofferschwelle durch eine Mittelrippe (Abb. 56, 6), verzichtet damit allerdings auf den Hauptvorzug der Kofferschwelle, unter sich einen fest eingeschlossenen Bettungskörper zu bilden. Scheibe versucht den hauptsächlichsten Mängeln der eisernen Schwellen nach Abb. 58 abzuhelfen. Er gibt ihr in den umgebogenen Stützflächen eine Elastizität, die etwa der des Kiefernholzes gleichkommt, sucht durch die geneigte Lage der Stützflächen das Stopfen zu erleichtern und den Bettungsdruck breiter zu verteilen (vgl. Abb. 55) und schließlich durch Ausfüllen des Hohlraumes mit Bettungsstoff das wirksame Schwellengewicht erheblich zu steigern. Wenn auch Vorschläge dieser Art erst durch lange Beobachtung auf ihren wirklichen Wert geprüft werden können, so sind sie doch beachtenswert in ihrem Bestreben, den vielfach als unvermeidlich bezeichneten Mängeln eiserner Schwellen durch zweckmäßiges Anpassen der Form an die angreifenden Kräfte und an die Bedürfnisse der Gleisunterhaltung wirksamer entgegenzutreten.

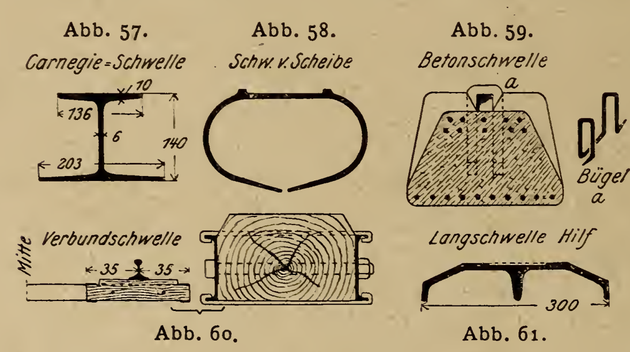


Abb. 57. Abb. 58. Abb. 59. Abb. 60. Abb. 61.

Die Liegedauer eiserner Schwellen ist wie die der Holzschwellen sehr wechselreich, je nach ihrer Tragfähigkeit und Befestigungsart. Während die schwächsten und mangelhaft befestigten Schwellen nur wenige Jahre lebensfähig blieben, wird die Liegedauer kräftiger und gut befestigter Schwellen von der badischen Staatsbahn auf etwa 35 Jahre geschätzt. Doch fehlt es noch an sichern statistischen Unterlagen.

Abb. 61 gibt das Bild der früher in Deutschland weit verbreiteten Langschwelle von Hilf mit dem eigentümlichen über die ganze Schwellenlänge reichenden Verschleiß am Schienenauflager, einer Folgeerscheinung der Gleitbewegungen, welche durch die gesonderten elastischen Tätigkeiten der Schienen und Schwellen in jedem Langschwellenbau entstehen.

Betonschwelle. Zu der hölzernen und eisernen tritt in neuerer Zeit als dritte Art die Betonschwelle, die in Deutschland bisher nur in kurzen Versuchsstrecken, in anderen, namentlich eisen- und holzarmen Ländern wie Italien, in größerem Umfange eingebaut wurde. Ihre Herstellungskosten sind etwa gleich denen der Eisenschwellen. Sie bietet den großen Vorteil, daß ihre haupt-

sächlichsten Rohstoffe fast überall billig zu beschaffen sind, daß sie sich leicht in jede beliebige, dem Zweck voll angepaßte Form bringen läßt und stets ein bedeutendes Gewicht besitzt. Auch fällt es nicht schwer, ihr mit Hilfe mäßiger Eiseneinlagen die nötige Tragfähigkeit zu geben (Abb. 59). Zur Aufnahme der Schienenbefestigung werden vielfach Holzdübel einbetoniert, die indessen nicht dauernd fest in der Schwelle haften, auch wegen ihrer Vergänglichkeit die Gleisunterhaltung erschweren. Vorzuziehen sind sicher einbetonierte eiserne Anker, etwa in Form der in Abb. 59 dargestellten, mit gutem Erfolge verwendeten Bügel, in deren obere, wenig aus der Schwelle hervorragende Ösen hakenförmige Klemmschrauben eingreifen. Die bis jetzt noch ungelösten Mängel der Betonschwellen liegen in den Rissen, die sich oft bald nach dem Verlegen im reinen Zementbeton einstellen, meistens von der oberen Schwellenfläche ausgehend, nach und nach in das Innere fortschreitend. Die Ursachen mögen in Witterungseinflüssen und in dem außerordentlich schnellen und häufigen Wechsel der Spannungen, verbunden mit heftigen Erschütterungen, zu suchen sein, denen die träge, spröde Betonmasse nicht zu folgen vermag. Aussicht auf besseren Erfolg dürfte eine Betonmasse mit elastischem Bindemittel haben.

Verbundschwellen.

Schließlich sei noch eine in Frankreich angeblich mit gutem Erfolg verwendete Schwellenart erwähnt, die sogenannte Verbundschwelle, die jeder Schiene eine gesonderte symmetrisch belastete Unterstützung gibt, beide Stützen aber zu einem biegungsfesten Körper vereinigt (Abb. 60). Die Stützen bestehen aus etwa 70 cm langen Holz- oder Betonklötzen, die durch zwei hohe schmale [Eisen verbunden werden. Die ganze Schwelle erhält hierdurch die geringe Länge von etwa 2,20 m. Sie ist ähnlich gelagert wie die in der Mitte nicht unterstopfte volle Schwelle und hat wie diese wohl den Vorteil, daß sie mit ihren getrennten kurzen Stützflächen stets voll auf der Bettung ruht und gleichmäßigen Bettungsdruck erzeugt, sie verzichtet aber auf Ausnutzung der verfügbaren Bettungsfläche, führt daher zu erheblich größerem Bettungsdruck als die lange einheitliche Schwelle, hat außerdem die jeder zusammengesetzten Schwelle eigenen Nachteile, die aus Lockerungen und Verschleiß an den Verbindungsstellen entspringen. Sie dürften nur für schwachbelastete Vollspurgleise in Frage kommen, in denen aus Ersparnisrücksichten kurze Schwellen verwendet werden sollen.

Schwellenteilung.

Der Schwellenabstand innerhalb der üblichen Grenzen ist weniger von Einfluß auf die Biegespannung der Schienen als auf den Bettungsdruck. Bei Zunahme der Schwellenteilung von 70 auf 85 cm wächst z. B. die Biegespannung nur etwa 5 %, der Bettungsdruck aber 15 %. Besonders ins Gewicht fällt ferner die starke Zunahme der Tragfähigkeit des Gleisbettes mit Abnahme der Schwellenteilung (vgl. Abb. 42, 1). Sie kommt zur vollen Geltung in weicher Bettung, die leicht zwischen den Schwellen auftreibt, ebenso auf ausweichendem Untergrund. Unter solchen Umständen ist daher, auch auf wenig belasteten Strecken, weitgehende Verdichtung der

Schwellenlage geboten, während im Schotterbett auf festem Grunde schon bei weiterer Schwellenlage die nötige Standsicherheit des Gleisbettes gewahrt wird. Die Tragfähigkeit der Bettung wird ferner gestärkt durch größere Schwellenbreite und höhere Auflast (vgl. Abb. 42, 2 und 3). Die im allgemeinen schmaleren und niedrigeren Eisenschwellen beanspruchen daher engere Teilung wie die breiteren und stärkeren Holzschwellen. Für 26 cm breite Holzschwellen gilt mit Rücksicht auf sicheres Unterstopfen als geringste Teilung der Mittelschwellen etwa das Maß von 60 cm, das auf den verkehrsreichsten Strecken, auch für Eisenschwellen, in Preußen eingeführt ist. Auf den Hauptstrecken in Österreich sind zur Zeit Schwellenteilungen von 72 bis 81 cm, in England von 76 bis 80 cm, in Nordamerika von 50 bis 60 cm üblich.

Abweichende Schwellenteilung erfordern die Schienenstöße, an denen es darauf ankommt, bedeutend größere statische und dynamische Angriffe durch größere Stützflächen im Gleisbett unschädlich zu machen. Die Stoßschwellen, oft auch ihre Nachbarschwellen werden daher näher aneinander gerückt, die beiden Stoßschwellen auch zu breiten Doppelschwellen vereinigt. Näheres hierüber enthält die Besprechung der Stoßverbindungen.

Es entsteht nun die Frage, namentlich für den Eisenschwellenbau, ob grundsätzlich breite Schwellen mit weiter Teilung oder schmale Schwellen mit enger Lage vorzuziehen sind, um mit gleichem Stoffaufwand größte Standfestigkeit des Gleises zu erhalten. Die Schiene würde bei dem Vergleich auszuschalten sein, da ihre Beanspruchung durch die Schwellenteilung, so lange diese in mäßigen Grenzen bleibt, sehr wenig beeinflußt wird. Gleicher Stoffaufwand für die Schwellen würde bei unveränderter Schwellenhöhe etwa gleichbleibendes Verhältnis der Schwellenteilung zur Schwellenbreite voraussetzen. Demselben Verhältnis würde der Schienendruck auf den einzelnen Schwellen und die Tragfähigkeit der Schwellen entsprechen, so daß auch der Stoffaufwand für die Schwellen durch die Teilung wenig berührt wird. Ebenso verhält es sich mit den Befestigungsmitteln, wenn ihre Masse der Beanspruchung der einzelnen Schwelle angepaßt wird, schließlich auch mit der Beanspruchung des Gleisbettes. Dagegen gewinnt die Tragfähigkeit der Flächeneinheit der Bettung etwa in geradem Verhältnis zur Schwellenbreite (vgl. Abb. 42, 3). Allein aus diesem Gesichtspunkte könnte theoretisch der breiten Schwelle mit weiter Teilung der Vorzug gegeben werden. Anderseits ist indessen zu berücksichtigen, daß schmale engliegende Schwellen den Bettungsdruck in geringerer Tiefe ausgleichen als breite weitgelagerte Schwellen, also von Vorteil sind in flachem Gleisbett auf nachgiebigem Untergrund. Kommt es darauf an, die Tragfähigkeit des Gleisbettes auf die erreichbar größte Höhe zu bringen, so wird den Schwellen zweckmäßig eine Breite gegeben, bei der sie noch gut unterstopft werden können, also bis etwa 50 cm, die Lücke zwischen den Schwellen aber auf das geringste zum Unterstopfen erforderliche Maß beschränkt.

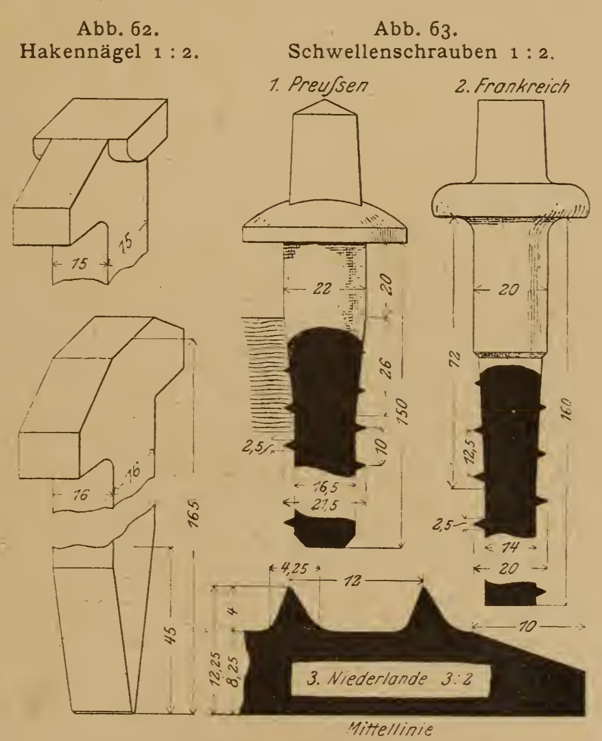
Gleisverbindungen.

Befestigen der Holzschwellen.

Der Verbindung zwischen Schienen und Holzschwellen wurde in früherer Zeit wenig Sorgfalt zugewendet. Man begnügte sich, die Schienen in einfachster Art entweder unmittelbar oder auf Zwischenplatten mit einigen hakenförmigen Nägeln an die Schwellen zu heften. Erst der starke Verschleiß an den Lagerstellen unter dem wachsenden Verkehr und den vergrößerten Raddrücken ließ die große Bedeutung der Gleisverbindungen für die Betriebssicherheit und für die Gleiserhaltung erkennen.

Der glatte vierkantige Nagel (Abb. 62) findet zwar kräftigen Widerstand in den Holzschwellen gegen Seitendruck, nicht aber auf die Dauer die nötige Haftfestigkeit, die mit dem Austrocknen der Schwelle und mit jedem neuen Nachtreiben des Nagels nachläßt. Auch die verschiedenen Abarten mit wechselndem oder gewundenem Querschnitt, die zum Teil als Übergangsformen zur Schwellenschraube angesehen werden können, bieten keinen Vorteil. Der Nagel wurde daher in den Hauptgleisen nach und nach fast allgemein durch die Schwellenschraube ersetzt. Diese verbindet indessen mit dem großen Vorzug des festeren Haltes in der Schwelle den Nachteil, daß die einmal verlorengegangene Haltfestigkeit nicht in so einfacher Weise wiedergewonnen werden kann wie beim Nagel durch Eintreiben von Holzpflöcken als Futterstücken. Die Schraube soll daher ihre volle Haftfestigkeit über die ganze Liegedauer der Schwelle behalten. Dabei ist, namentlich in Weichholzschwellen, von Bedeutung die Länge der Schraube, ihre Gewindeform und die Weite der Vorbohrung. Das Holz gewinnt an Widerstandsfähigkeit, wenn es an allen Berührungsstellen mit der Schraube kräftig gepreßt wird, ohne indessen in seinem Gefüge zerstört zu werden. Hierauf hat die Gewindeform und die Vorbohrung Rücksicht zu nehmen. In Hartholz sollte nach der Erfahrung mindestens 1 mm enger vorgebohrt werden als der Kerndurchmesser der Schraube beträgt, in Weichholz mindestens

Abb. 62. Hakennägel 1 : 2. Abb. 63. Schwellenschrauben 1 : 2.



3 mm enger. Der Gewindesteg soll hoch und schmal gehalten werden, um die nötige Stützfläche im Holz zu gewinnen, ohne sein Gefüge zu schädigen. Das Gewinde der neuen preußischen, auch der französischen Schwellenschraube (Abb. 63, 1 und 2) dürfte wohl für Hartholz geeignet sein, für Weichholz aber weniger zweckmäßig als die niederländische mit ihrem 4 mm hohen Steg (Abb. 63, 3). Durchaus dichter Schluß zwischen Schraube und Schwelle ist aber nicht nur zur besseren Haftfestigkeit, sondern auch zum Schutz gegen Eindringen von Nässe zu fordern. Er ist namentlich von Wert an der Schwellendecke und wird hier am wirksamsten erreicht durch tiefes Einpressen des stärkeren kegelförmigen Schraubenhalses (Abb. 63, 1), der zugleich mit seiner breiteren Stützfläche den Seitendruck günstiger auf das Schwellenholz überträgt. Die nutzbare Gewindelänge, die bei der preußischen Schwellenschraube etwa 11 cm beträgt, dürfte für Weichholzschwellen auf etwa 13 cm zu vergrößern sein, um die ganze Schwellenstärke, namentlich auch das feste Kernholz der kiefernen Schwelle für die Haftfestigkeit auszunutzen. Für die Stärke der Schraube sind hauptsächlich die Ansprüche an die Torsionsfestigkeit maßgebend. Sie schwankt im Kerndurchmesser zwischen 14 und 16,5 mm.

Um den Sitz der Schrauben in Weichholzschwellen weiter zu kräftigen, werden vielfach Schraubdübel aus hartem, getränktem Buchenholz als Vermittlungsstücke zwischen Schraube und Schwelle eingeschaltet nach der zuerst von Collet auf französischen Bahnen in weichen Tannenschwellen verwendeten Art (Abb. 64). Sie sollen einerseits als Hartholz die Haftfestigkeit der Schrauben vergrößern, anderseits mit ihrem größeren Durchmesser den Seitendruck auf das weiche Schwellenholz sicherer übertragen, endlich die Schwellendecke von senkrechtem Druck entlasten und vor schneller Abnutzung schützen. Nach den bisherigen Erfahrungen erfüllen sie diese Forderung in weitgehendem Maße gegenüber den alten schwächlichen Befestigungen in Weichholzschwellen. Meistens mit kurzen eisernen Unterlagplatten überdeckt, nehmen sie mit ihrer oberen sehr widerstandsfähigen Hirnfläche fast allein die volle Last auf und bilden Einzelstützen, die durch ihre Schraubengewinde den Lastdruck unmittelbar an das Innere der Schwelle abgeben. Man findet daher die obere Lagerfläche an den verdübelten Schwellen weniger fest gepreßt als an den dübellosen, oft sogar faserig, ein Zeichen voller Entlastung. Damit schwindet allerdings der wünschenswerte große Reibungswiderstand der vollbelasteten Schwellendecke, der allein schon imstande ist, den wesentlichsten Teil des Seitenschubes ohne Mitwirken der Befestigungsstücke aufzunehmen. Die Dübel drücken daher fast mit der ganzen Größe des Seitenschubes, der in der

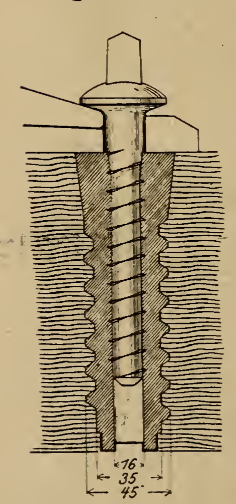
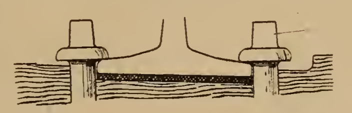


Abb. 64. Schraubendübel 1 : 4.

Schiene auftritt, gegen die Wand der Schwelle. Ihre Stützfläche für senkrechten Druck ist ferner erheblich geringer als die Stützfläche der vollbelasteten Schwellendecke, sie beträgt in den Schraubengewinden von vier Dübeln weniger als die Hälfte der Stützfläche einer Unterlagplatte von 16 × 25 cm. Daß sich dennoch der Sitz der Schraubendübel in der Schwelle bei sorgfältiger Herstellung als dauerhaft erweist, ist zum Teil auf die größere Härte des inneren, tragenden Schwellenholzes, hauptsächlich aber auf den sehr innigen Schluß zwischen Dübel und Schwelle zurückzuführen, der jede zerstörende gegenseitige Bewegung ausschließt, ein Zustand, der sich indessen auch ohne Dübel durch zweckmäßige Verbindung zwischen Schiene und Schwelle erreichen läßt. Die Dübel schließen noch mehr als die einfachen Schrauben jede Nacharbeit an ihrem Sitze aus, gestatten auch nicht durch mäßiges Verschieben der Schwelle neue Befestigungsstellen zu schaffen, beeinträchtigen daher den Gebrauch alter, aus dem ersten Verbande entnommener Schwellen in hohem Maße. Sie haben sich als wirksames Mittel erwiesen, alte durch Nägel oder Schrauben stark angegriffene Weichholzschwellen aufzubessern, werden auch auf den preußischen Bahnen fast ausschließlich zu diesem Zwecke verwendet. Ob es vorteilhaft ist, schon neue Weichholzschwellen zu verdübeln, wie es auf anderen Bahnen neuerdings geschieht, bleibt weiterer Erfahrung vorbehalten.

Eine sehr einfache Form der Schienenlagerung auf Hartholzschwellen ist in Frankreich vertreten, versuchsweise auch auf preußischen Bahnen (Abb. 65). Der breite Schienenfuß ruht auf dünnen Zwischenlagen von Filz, geteertem Weichholz, meistens Pappelholz, oder geteertem Gewebestoff, und wird seitlich von drei bis vier kräftigen Schwellenschrauben gefaßt. Diese weichen Zwischenlagen haben den Zweck, die Fuge zwischen Schwelle und Schiene satt auszufüllen, die Schwellenlagerflächen vor Verschleiß zu schützen, auch die Stoßwirkungen an den Schwellen abzuschwächen. Es wird ihnen ferner nachgerühmt, daß sie dem Wandern der Schienen kräftig entgegenwirken, eine Erscheinung, die wohl weniger der Platte an sich als der starken Schraubenspannung und dem ausgepreßten klebrigen Tränkstoff zuzuschreiben ist, und die auch sonst an gut befestigten teergetränkten Schwellen beobachtet werden kann. Bessere Dienste wie bei Holzschwellen dürften solche Zwischenlagen bei eisernen Schwellen leisten zur Vermittlung des harten Druckes zwischen Schiene und Schwelle. Sobald indessen die Schraubenspannung nachläßt, werden die Platten selbst stark verschlissen, schief gedrückt und verschoben. Sie erfordern daher viel Sorgfalt in der Unterhaltung, wenn sie ihren Zweck erfüllen und nicht mehr schaden als nützen sollen. Auch größere und stärkere Unterlagplatten von besonders hartem Holz werden verwendet, bisher jedoch ohne durchschlagenden Erfolg, weil es schwer hält, dergleichen kurze Platten von schädlichen Rissen frei zu halten.

Schienenlager


Abb. 65. Zwischenlagen 1 : 6.

Die verbreitetste Lagerform auf Holzschwellen ist die eiserne Unterlagplatte. Sie erschien zuerst als einfache glatte Platte, oft von so geringer Grundfläche, daß sie die Lastverteilung kaum verbesserte. Dagegen war sie wohl imstande, den Seitendruck auf alle Befestigungsstücke zu verteilen und günstiger auf die Schwelle zu übertragen. Aber die Befestigungsstücke selbst blieben den unmittelbaren seitlichen Angriffen des Schienenfußes und schnellem Verschleiß ausgesetzt. Man ging daher bald zu den Randplatten über, die den Seitenschub der Schiene zunächst in sich aufnehmen und dann gleichmäßig an alle Befestigungsstücke abgeben (Abb. 66). Um tiefe schräge Einschnitte in der Schwellenkappe zu vermeiden, erhielten sie später keilförmigen Querschnitt entsprechend der Schienenneigung. Steigender Verkehr und vergrößerte Raddrücke forderten weitere Schutzmaßregeln namentlich für Weichholzschwellen. Die Grundfläche der Platten wurde vergrößert, die Zahl der Befestigungsstücke vermehrt und ihr Sitz im Holze gekräftigt.

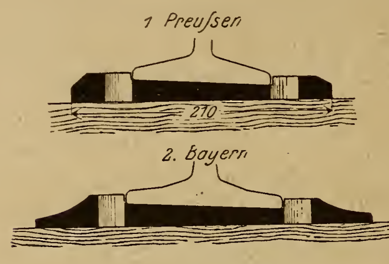


Abb. 66. Randplatten 1 : 6.

Klemmplatten.

Besonders nachteilig hatte sich der einseitige Sitz des Schraubenkopfes auf dem Schienenfuß erwiesen. Die Schrauben wurden seitlich verbogen, die Lochwandungen im Holz verdrückt. Man fügte daher ein neues Zwischenglied, die Klemmplatte ein, in einfachster Form nach Abb. 67, 1. Sie stützt sich auf den Schienenfuß und auf die Unterlagplatte und überträgt nur achsialen Druck auf die Schraube. Die Hebelwirkung der Klemmplatte erzeugt allerdings in den Schrauben verstärkte Zugspannungen. Es sollte daher Wert darauf gelegt werden, das Hebelverhältnis nicht zu ungünstig zu gestalten und der Platte eine angemessene Breite zu geben. Die gut abgestützte Klemmplatte in Abb. 69, 2 ist offenbar wirksamer als die in Abb. 69, 1 und 68, 1 dargestellten, bei denen es fraglich ist, ob sie überhaupt auf den Schienenfuß drücken. Um die Schiene auch seitlich fest einzuspannen und vor Verschieben zu sichern, wird das äußere Lager der Klemmplatte oft keilförmig ausgebildet, wie auf der österreichischen Nordwestbahn und in Verbindung mit Hakenplatten auf den preußischen Staatsbahnen nach Abb. 68, 2. Das erfordert große Genauigkeit in den Maßen, denn schon bei kleinen Maßfehlern und geringer Abnutzung der Stützflächen stellt sich die Klemmplatte schräg, zum Schaden der Spannschraube, oder verliert ganz und gar ihren Keilschluß. Durch die bisherigen Erfahrungen ist noch nicht erwiesen, ob ein tatsächliches Bedürfnis nach derartigen Keilverspannungen besteht, oder ob schon kräftige senkrechte Schraubenspannungen im Verein

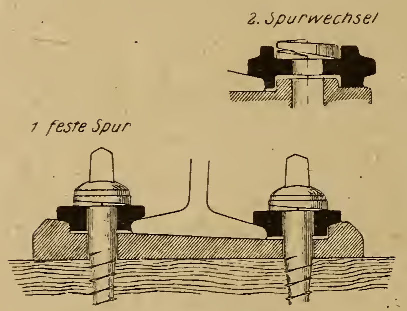


Abb. 67. Klemmplatten 1 : 6.

mit der Keilform des Schienenfußes genügen, die Schienen nach jeder Richtung unverschieblich auf ihrem Lager festzulegen.

Mit der Klemmplatte ist auch das einfachste Mittel gegeben, die Schienen auf ihrer Unterlage seitlich zu verstellen, also die Gleisspur zu berichtigen, ohne den Sitz der Befestigungsstücke zu ändern. Zu dem Zwecke werden entweder Klemmplatten verschiedener Breite gefertigt, oder die Einheitsklemmplatten zum Einlegen für wechselnde Spur eingerichtet (vgl. Abb. 67, 2 und 69, 2). Das Bedürfnis, die Spur zu berichtigen, besteht nicht nur während der Gleisunterhaltung, sondern auch schon beim Einbau des Gleises wegen der unvermeidlichen Maßfehler an den einzelnen Stücken. Für die Dauerhaftigkeit der Schwellenbefestigung aber ist es von großem Wert, alle Eingriffe in den ersten in der Schwelle eingenommenen Sitz zu vermeiden. Die Klemmplatten nach Abb. 67, 2 und 69, 2 haben den Vorzug, daß sie nicht nur weitgehende Spuränderungen gestatten, sondern auch durch den zur Seite des Schienenfußes einliegenden Spurrand gegen seitliches Verdrehen gesichert sind. Ähnliche Klemmplatten, jedoch mit keilförmigem Sitz, verwendet die österreichische Nordwestbahn.

An die Schwellenschrauben, welche zugleich Unterlagplatte und Schiene anschließen, werden zwei sich widersprechende Anforderungen gestellt, einerseits mäßige, der Festigkeit des Holzes entsprechende Zugspannungen innerhalb der Schwelle, anderseits möglichst kräftige Spannung zwischen Platte und Schiene. Diesen unvereinbaren Ansprüchen sucht man in neuerer Zeit durch getrennte Befestigungen der Platten und Schienen zu begegnen, auf deutschen Bahnen zunächst in unvollkommener Weise mit Hilfe der Hakenplatte. An der preußischen Hakenplatte (Abb. 68, 1) umfaßt der kräftige Haken die Außenkante des Schienenfußes und bildet hier die einzige Befestigung zwischen Schiene und Platte, während die Platte selbst durch zwei gesonderte Schrauben mit der Holzschwelle verbunden ist. Die Innenkante des Schienenfußes wird dagegen unmittelbar von der Schwellenschraube gefaßt. Hakenplatten.

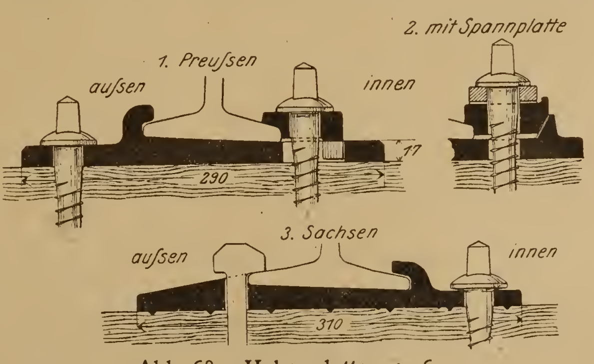


Abb. 68. **Hakenplatten 1 : 6.**

Tatsächlich besteht nun schon von vorherein wegen der unvermeidlichen Spielräume kein inniger Anschluß des Schienenfußes im Haken. Die Spielräume vergrößern sich aber mit fortschreitendem Verschleiß des Hakens oder bei geringem seitlichen Verschieben der Schiene und nehmen oft einen Umfang an, bei dem die Wirkung des Hakens überhaupt ausgeschaltet und der volle Angriff der Schiene allein der inneren Schwellen-

schraube zugewiesen wird. Das führt zu übermäßigen Anstrengungen und vorzeitigen Abnutzungen der inneren Verbindungsstücke, woraus sich schließlich ein Zustand entwickeln kann, wie er in Abb. 27 an einem Beispiel der ältesten unsymmetrischen preußischen Hakenplatten gezeigt wurde. Aber auch bei den jüngeren, ziemlich symmetrisch belasteten und mit Klemmplatten ausgerüsteten Hakenplatten bleibt die innere Verschraubung wegen des unmittelbaren Angriffes der Schiene stark im Nachteil gegenüber der äußeren, um so mehr, da man innen nur eine einzige Schraube zu verwenden pflegt. Die Klemmplatte der neuesten preußischen Hakenplatte mit ihrer größeren Länge und ihrem keilförmigen Lager (Abb. 68, 2) verspannt zwar den Schienenfuß seitlich fest im Haken, ohne indessen die senkrechten Bewegungen im Haken zu verhindern, die nun um so schädlicher wirken, als sie unter starkem Druck an den reibenden Flächen vor sich gehen. Die sächsische Staatsbahn und die österreichische Südbahn verwenden ähnliche Hakenplatten, legen aber die Haken an die Innenseite der Schiene, weil erfahrungsmäßig die Innenkante des Schienenfußes heftigeren Bewegungen ausgesetzt ist als die Außenkante (Abb. 68, 3).

Wird auf durchaus unverschiebliche Verbindung zwischen Schiene und Schwelle Gewicht gelegt, so versagt die Hakenplatte der vorbeschriebenen Form, denn sie vermag nicht die dauernde und kräftige Spannung auszuüben, welche für jede starre Verbindung vorausgesetzt werden muß.

Stuhlplatten und Schienenstühle.

Einen sehr bedeutsamen Fortschritt bildet die vollständige Trennung der Schienenbefestigung von der Schwellenbefestigung mit Hilfe von Stuhlplatten oder Schienenstühlen. Durch sie wird es möglich, die Schiene unabhängig von der Haftfestigkeit der Schwellenschrauben außerordentlich fest und sicher mit ihrer nächsten Unterlage zu verbinden, die Schwellenschrauben aber unabhängig von der Schiene so zu verteilen und zu vermehren, daß sie vollkommen gleichmäßig und nicht zu stark beansprucht werden und dauernd innigen Schluß zwischen Schwelle und Platte gewährleisten. Auch reicht die starke Verspannung der Schiene mit der Stuhlplatte in der Regel allein schon aus, die Schiene am Wandern auf den Platten zu hindern. Denn nimmt man nach den früheren Ausführungen an, daß die unbelastete, dem Wanderschub am meisten ausgesetzte Schwelle im Gleisbett einen Widerstand von etwa 500 kg findet, so muß, um diesen Widerstand auszunutzen, der Reibungswiderstand an jedem Schienenlager 250 kg betragen, der Spannungsdruck am Schienenfuß bei einer Reibungsziffer von 1 : 4 also 1000 kg, der sich auf beide Klemmplatten mit je 500 kg verteilt. Die Spannung in jeder Klemmschraube ist wegen der Hebelwirkung auf etwa 1000 kg zu steigern, bleibt also in mäßiger Grenze. Sogar eine halb so große Spannung genügt, wenn außer der Schienenlagerfläche auch die Druckfläche der Klemmplatte am Schienenfuß als volle Reibungsfläche zur Geltung kommt, wenn also die Klemmplatte am Mitwandern verhindert wird. Das geschieht, wenn auch in unvollkommener Weise, in der Regel

schon durch die Schraubenspannung, bei weitem wirksamer und zweckmäßiger aber durch seitliche Stützen im Schienenlager, an welche die Klemmplatte sich anlehnt unter voller seitlicher Entlastung der Spannschraube. Daß ein so fester Anschluß zwischen Schiene und Schwelle die Wärmedehnung in schädlicher Weise hemmen könnte, darf nach der Erfahrung nicht befürchtet werden. Denn das Gleisbett ist nur in beschränktem Maße widerstandsfähig gegen Seitendruck, ist auch ebenso wie das Gestänge elastisch nachgiebig, gestattet daher unter Mithilfe der starken Erschütterungen die geringen, nur einige Millimeter betragenden Verschiebungen der Schwellen ohne schädliche Spannungen.

Die Stuhlplatten werden im Walz- oder Gußverfahren gefertigt. Die gewalzten Platten fallen im allgemeinen leichter aus, sind aber in der Form durch das Herstellungsverfahren beschränkt und müssen oft nachträglich weiter bearbeitet werden. Die Gußplatten können viel freier gestaltet und von vornherein leicht in Formen gebracht werden, die den Kraftangriffen und einer zweckmäßigen Befestigungsweise am besten entsprechen, werden auch weniger durch Rost angegriffen als Walzeisen. Das Vorurteil, welches dem Eisen- oder Stahlguß als spröder, brüchiger, schwer fehlerfrei herzustellender Masse vielfach im Oberbau entgegengebracht wurde, ist nach den Erfahrungen, namentlich in England, nicht gerechtfertigt, wenn nur der Eigenart der Gußmasse durch die Form genügend Rechnung getragen und beim Gießverfahren die nötige Sachkenntnis und Sorgfalt angewendet wird*).

Vermittelnd zwischen dem Walz- und Gußverfahren steht das bisher noch wenig ausgebildete Stanzverfahren, das aus vorgewalzten Stücken durch warmes Pressen und Stanzen die Schlußform herausbildet. Die Vielseitigkeit, die diesem Verfahren eigen ist, läßt von seiner weiteren Ausbildung auch für den Gleisbau namhafte Vorteile erwarten.

In ihrer Form werden die Stuhlplatten oft als Hakenplatten, meistens aber für beiderseitige Klemmplatten ausgebildet. Bei walzeisernen Platten finden die Schienenschrauben nach Abb. 69 ihren Sitz in eingewalzten Rillen oder in kegelförmigen Löchern und werden in der Regel von unten eingeführt, zuweilen auch von oben nach Abb. 69, 2, bei den stärkeren gußeisernen Schienenstühlen in der Regel von oben, woraus der wesentliche Vorteil entspringt, daß die Platten schon vor dem Einbau des Gleises endgültig mit den Schwellen verbunden werden können, und daß bei etwaigem späteren Auswechseln der Schienenschrauben die Schwellenbefestigung

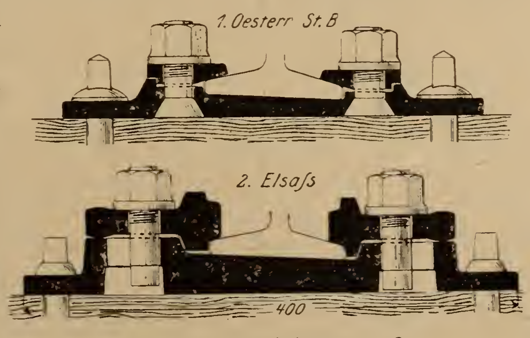


Abb. 69. **Stuhlplatten** 1 : 6.

*) Vgl. Krieger, Zeitschr. d. Ver. Deutscher Ingenieure 1919 S. 25.

nicht gelöst werden muß, daneben allerdings der Nachteil, daß leicht Nässe und Unreinigkeit von oben in die erweiterten Öffnungen eintritt, die Schwellen anfaulen und die Schrauben in der Platte sich festsetzen und einrosten. Um dem vorzubeugen, wurden vom Verfasser gußeiserne Schienenstühle nach Abb. 70, 1 seit 1898 in Hauptgleisen auf kiefernen Schwellen verlegt*). An diesen bleibt die Grundplatte geschlossen, die Schienenschrauben aber werden von der Seite zwischen zwei aufrecht stehenden Rippen eingeführt, deren vorstehende Kopfleisten den Sitz des Schraubenkopfes bilden. Die Klemmplatten sind für Spuränderungen bis 6 mm, zum Teil bis 12 mm eingerichtet, sie können gegen Längsschub durch hochgeführte Rippen am Stuhl abgestützt werden, etwa wie im Querschnitt zu Abb. 70, 1 angedeutet ist. Die Schwellenschrauben sind mit kräftigen Feder-

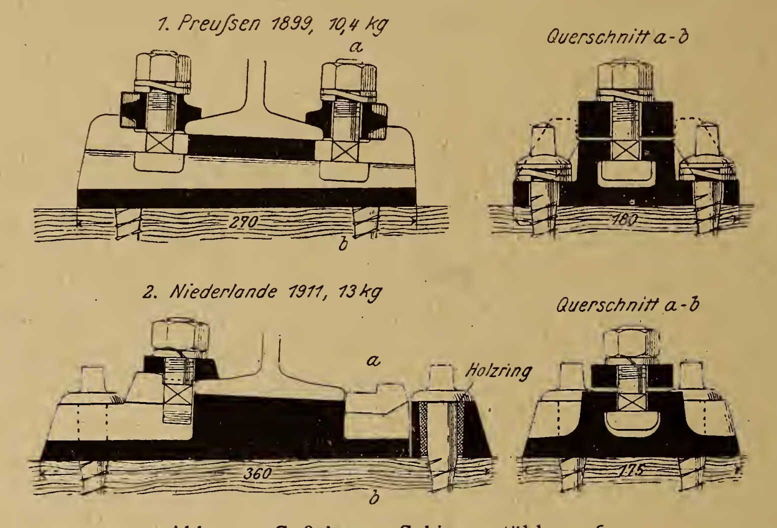


Abb. 70. **Gußeiserne Schienenstühle** 1 : 6.

ringen unterlegt. Unter diesen Stühlen blieb die Lagerfläche auf den Schwellen auch nach langer Zeit unversehrt, sie wurde unter dem Druck wohl eingepreßt, aber nicht abgenutzt (vgl. Zusammenstellung auf S. 34 unter Nr. 7). Der ausgetretene Tränkstoff hatte die Stuhlplatten zum Teil so fest mit den Schwellen verkittet, daß sie erst durch Hammerschläge abgelöst werden konnten. Eine ähnliche Form von Schienenstühlen nach Abb. 70, 2 ist seit 1912 von der niederländischen Staatsbahngesellschaft und Zentral-Eisenbahngesellschaft für ihre Hauptlinien eingeführt worden**). Auch von anderen Seiten wird über Stuhlplatten und Schienenstühle günstig berichtet, sie dürften indessen nur für Weichholzschwellen in Frage kommen, während für Hartholzschwellen die einfachere Lagerung etwa nach Abb. 67 im allgemeinen als genügend anzusehen ist.

*) Näheres: Organ 1899 S. 143, 1908 S. 177, 1914 S. 130.

**) Organ 1912 S. 416.

Englischer Schienenstuhl.

Von wesentlich anderen Voraussetzungen geht der englische gußeiserne Schienenstuhl aus, der seine Grundform von der Entstehung der Eisenbahnen bis heute bewahrt hat (Abb. 71). Die englische Doppelkopfschiene hat keine eigene Standfähigkeit wie die Breitfußschiene, bedarf daher einer kräftigen seitlichen Stütze und seitlicher Befestigung. Das führte zu der Haupteigentümlichkeit des englischen Stuhles, den hohen Seitenlehnen und dem Keilverschluß. Die mit Leinöl getränkten, stark gepreßten Holzkeile sind sehr flach geneigt, in der Regel sogar parallelflächig. Sie werden trocken eingebracht und erhalten ihre volle Spannung erst durch Aufquillen in feuchter Luft, verlieren jedoch mit der Zeit an Spannkraft und bedürfen häufig der Nachhilfe und des Ersatzes. So einfach dieser Keilverschluß erscheint, bietet er doch keinen vollwertigen Ersatz für kräftige Verschraubung, denn dauernder Schluß zwischen Schiene und Stuhl wird durch ihn nicht erreicht, wie aus dem Verschleiß der Keile, der Schienen an ihren Lagerstellen und der inneren Anliegeflächen der Stuhlbacken hervorgeht. Mit der Schwelle wird der Stuhl durch vier starke Dübel oder Nägel aus Holz oder Eisen verbunden, wobei indessen keineswegs sicherer Schluß zwischen Schwelle und Platte besteht, wie die nicht unerheblichen Abnutzungen der Schwellenlager dartun. Es liegt keine Veranlassung vor, die Grundform des englischen Stuhles, der mit der Zeit auf das stattliche Gewicht von 25 kg angewachsen ist, auf die Breitfußschiene zu übertragen, weil diese nach der Erfahrung keiner seitlichen Stütze bedarf und durch die Fußbefestigung vollkommener gesichert wird wie durch seitlichen Keil. In Deutschland hat sich der englische Keil im allgemeinen nicht bewährt, weil er schwindet und nachläßt, auch Anlaß zum Schienenwandern gibt. Dagegen findet er vorteilhaft Verwendung in Tunneln.

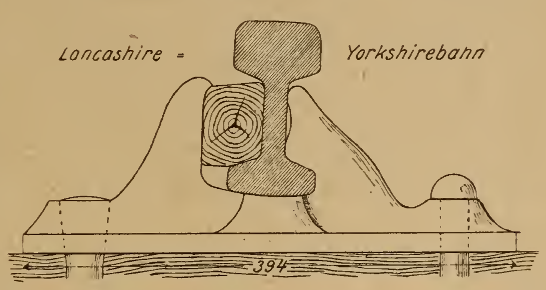
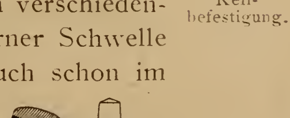


Abb. 71. Englischer Schienenstuhl 1 : 6, 25,4 kg.

Keilbefestigung.

Als Ersatz für Klemmschrauben wurde der eiserne Keil in verschiedenartiger Form zwischen Schiene und Unterlagplatte oder eiserner Schwelle in Vorschlag gebracht (vgl. Abb. 72), u. a. von Baum*), auch schon im ältesten Eisenschwellenbau viel verwendet, in neuerer Zeit an der Carnegie-Schwelle. Er ist ein sehr wirksames und einfaches Mittel, nicht nur kräftige Verbindungen zu schaffen, sondern auch die zu verbindenden Stücke nach Belieben gegeneinander einzustellen. Dabei beansprucht er weniger Raum und ist vielseitiger verwendbar als die Schraube. Weiteste Verwendung findet er daher im Maschinenbau, ohne jedoch im Gleisbau bisher festen Fuß


Abb. 72. Doppelhakenplatte mit Keil.

*) Verkehrstechnische Woche 1911 S. 785.

gefaßt zu haben, weil er sich unter den Erschütterungen und dem Längsschub im Gleise leicht lockert. Immerhin dürften bei seinen sonstigen Vorzügen weitere Versuche mit gut gesichertem Keil wohl gerechtfertigt sein (vgl. Abb. 96).

Lagerung der Platten.

In dem Bestreben, die Lager auf den Weichholzschwellen zu schonen, hat man den Unterlagplatten und Stühlen Längen bis 40 cm und mehr gegeben. Aber je fester und unverschieblicher sie mit den Schwellen verbunden sind, desto geringer ist die Abnutzung der Lager, die schließlich nur als ein Zusammenpressen des Holzgefüges zur Erscheinung kommt, desto geringer können also die Abmessungen der Lagerflächen gehalten werden. Für jede Art von Platten ist ein durchaus volles und gleichmäßiges Lager auf der Schwelle von großem Wert, damit alle Zwischenräume vermieden werden, die Veranlassung zum Eintritt von Bettungsstoff und Nässe, zu schnellem, ungleichmäßigem Verschleiß und zu schädlichen Spuränderungen geben. Nur mit dem Beil oder dem Dechsel bearbeitete, selbst geschnittene Flächen gewährleisten nicht immer die wünschenswerte Genauigkeit. Das vielverbreitete Verfahren, die Lagerflächen durch Maschinenhobel vorzurichten, erscheint daher in allen Fällen empfehlenswert.

Befestigen der Eisenschwellen.

Für Eisenschwellen ist eines der ältesten Befestigungsmittel der Keil, der in Verbindung mit klammerartigen Futterstücken senkrecht in die Schwellenlochung eingetrieben wurde. Er bewährte sich indessen nicht, weil er sich leicht lockerte und durch seinen starken Druck die Lochwände zu sehr angriff, wurde daher bald von der Schraube abgelöst. Diese greift unmittelbar unter die Schwellendecke und wird meistens als sogenannte Hakenschraube von oben eingeführt (Abb. 73, 2), Da man die Schwellen aus Zweckmäßigkeitsgründen gern mit gleicher Lochung für gerade und gekrümmte Gleise versieht, so werden die Befestigungsmittel auf weitgehenden Spurwechsel eingerichtet. Von den vielen Befestigungsarten verdient hervorgehoben zu werden die Bauart von Roth und Schüler mit besonderen verstellbaren Spureinlagen. Bereits mit dem ersten eisernen Querschwellenbau auf den badischen Staatsbahnen eingeführt, entwickelt sie sich nach und nach zu der jetzigen in Abb. 73, 1 dargestellten Form. Sie zeichnet sich aus durch Einfachheit, einheitliche Form der Befestigungsstücke, durch guten Sitz der Schrauben und Spureinlagen in den voll ausgefüllten Schwellen-

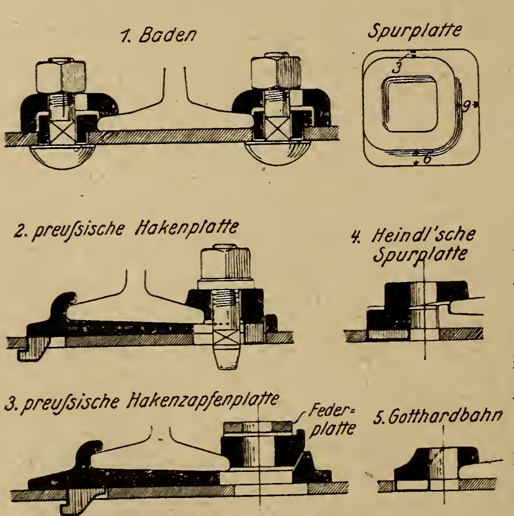


Abb. 73. Befestigung eiserner Schwellen 1 : 6.

löchern, Entlasten der Schrauben von Querschub und durch dauerhafte und feste Schraubenspannung, zu welcher die Elastizität der breiten Klemmplatten beiträgt. Schädliche Schienenwanderungen auf den Schwellen sind nach den Berichten nicht beobachtet worden. Als Nachteil wird von anderer Seite bezeichnet das Einführen der Schrauben von unten und Schwächen der Schwellen durch die breiten Löcher in der Decke. Trotzdem hat sich diese Bauart nach den Berichten der badischen Staatsbahn auf Grund der langen Erfahrung in jeder Hinsicht als zweckmäßig erwiesen, namentlich die Schwellen und Befestigungsstücke vor Verschleiß bewahrt. Die Gotthardbahn verwendet ebenso wie die frühere rheinische Eisenbahn die einfache Klemmplatte, deren unterer Zapfen zum Einstellen der Spur wechselnde Stärke erhält (Abb. 73, 5), die württembergische Staatsbahn die Heindlsche nicht einheitliche Spur- und Klemmplatte Abb. 73, 4.

Die Schienen lagern entweder unmittelbar auf den Schwellen, die der Schienenneigung entsprechend an der Lagerstelle gekröpft werden, oder auf Unterlagplatten, welche die Schienenneigung vermitteln, zugleich die Schwellendecke vor unmittelbaren harten Angriffen der Schienen schützen. Die preußische Staatsbahn gab ihnen die Form der Hakenplatte (Abb. 73, 2), die an der Außenseite mit einem zweiten hakenförmigen Ansatz unter die Schwellendecke greift, während die Innenseite ähnlich wie auf Holzschwellen durch Schraube und Klemmplatte befestigt wird. Der Spurwechsel wird durch ungleiche Lage des oberen Hakens bewirkt und erfordert je vier Sorten von Hakenplatten und Klemmplatten. Als Vorzug dieser Platte ist hervorzuheben, daß sie die Schrauben an der Außenseite der Schiene erspart, daß sie ferner gleich anderen Befestigungsarten den Querschub der Schiene unmittelbar auf die Schwelle überträgt, ohne die Klemmschraube anzugreifen. Demgegenüber ist als schwerer Nachteil der mangelhafte Schluß an beiden Haken zu bezeichnen, der freie senkrechte Bewegungen von etwa 2 mm gestattet, daher eine stetige Quelle für Abnutzungen an Haken, Schwellendecke und Lochwänden bildet. Noch größere Bewegungen, bis 4 mm, gestattet die Hakenzapfenplatte (Abb. 73, 3), die der Absicht entsprang, durch Verschieben des unteren Hakens nach innen die schwächste, durchlochte Stelle der Schwellendecke durch die Platte zu überdecken und zu kräftigen. Der mangelhafte Schluß zwischen Schiene und Haken fördert ferner erfahrungsmäßig das Wandern der Schienen auf den Schwellen. Die Hakenplatte der üblichen Form kann daher weder auf Holz- noch auf Eisenschwellen in ihrer Wirkung als gleichwertig mit einer gut ausgebildeten beiderseitigen Verschraubung erachtet werden, bei der nach den Erfahrungen auf Eisenschwellen die Unterlagplatte überhaupt erspart werden kann.

Eine eigenartige und einfache, für die weitere Ausgestaltung des Eisenschwellenbaues beachtenswerte Bauart ist in jüngster Zeit bei der oldenburgischen Staatsbahn eingeführt nach Abb. 74. Aus der Schwellendecke

werden zwei Rippen aufgepreßt, die als Stützen der Klemmplatten den Schienen sehr sicheren seitlichen Halt gewähren. Zum Verstellen der Spur werden die Klemmplatten in zwei Sorten gefertigt, die sich durch die Breite der Einlageflächen unterscheiden.

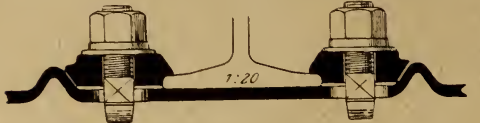


Abb. 74. Oldenburgische Rippenschwelle 1:6.

Die Lochungen in den Eisenschwellen werden meistens kalt eingestanzt. Dieses Verfahren hat jedoch den großen Mißstand zur Folge, daß die Lochwände, namentlich in den Ecken, stark angegriffen und mit feinen Rissen behaftet werden, die sich unter den stoßenden Angriffen erweitern und oft den Ursprung zu frühzeitiger Zerstörung des ganzen Stückes bilden. Es ist daher vorzuziehen, an stark beanspruchten Stellen die Löcher einzuschneiden statt einzustanzen, jedenfalls scharfe Ecken wie überhaupt jeden plötzlichen Wechsel im Querschnitt zu vermeiden.

Befestigen der Leitschienen.

Ansprüche ganz besonderer Art werden an die Befestigung der Leitschienen gestellt, die ohne senkrechte Belastung lediglich seitlichen Raddrücken von 3000 kg und mehr ausgesetzt sind. Die einfachen verschraubten ⌊-Eisenstützen (Abb. 75) erwiesen sich auf Holzschwellen unzulänglich, weil sie sich schief eindrücken und die Holzschrauben senkrecht und seitlich unzulässig stark beanspruchen. Auch auf Eisenschwellen stellen sie sehr hohe Anforderungen an die Befestigungsstücke und Lochwände. Da die Leitschiene und die zugehörige innere Hauptschiene von dem seitlichen Raddruck in entgegengesetzter Richtung betroffen werden, so ist zweifellos eine unmittelbare Verkuppelung dieser beiden Schienen ohne Mitwirken der Schwelle am zweckmäßigsten, sei es durch Stehbolzen nach Art der Leitschienenanschlüsse in Weichen, wie in Sachsen üblich, durch Klammern, die unterhalb der Schiene hindurchgeführt werden oder durch gemeinsame Unterlagplatten und Stühle. Solche Stühle wurden auf der Stadtbahn in Berlin beim ersten Einlegen von Leitschienen mit gutem Erfolg verwendet und dürften, wenn auch in anderer Form, die beste Stützart der Leitschienen abgeben, weil sie am kräftigsten wirken, keine Bohrungen in den Schienen verlangen, das Einfügen der Leitschienen erleichtern und ihre Spurlage sicher erhalten.

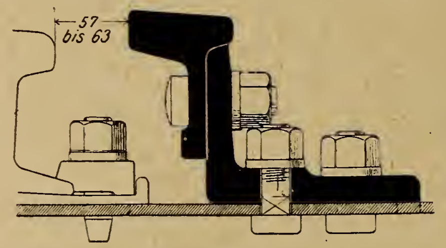


Abb. 75. Preußische Leitschiene 1 : 6.

Stoßverbindungen.

Laschen, schwebender Stoß.

Die älteste Schienenstoßverbindung, bestehend aus kurzen mit den Schienenstegen verschraubten Flacheisen, vermochte wohl die Schienenenden miteinander zu verkuppeln, zur Not auch in der Querrichtung bündig zu erhalten, nicht aber die gegenseitige Höhenlage zu sichern, die allein von

der Lagerung auf gemeinsamer Stoßschwelle abhängig war. Dem bald erkannten Bedürfnis nach größerer Stetigkeit im Schienenstrange wurde erst durch die jetzt allgemein übliche Stütz- oder Stemmlasche entsprochen, die sich mit ihren keilförmigen Stützflächen festschließend zwischen Schienenkopf und Schienenfuß einlegt (Abb. 76) und in dieser innigen Verbindung mit den Schienen weitgehend imstande ist, nicht nur die Schienenenden der Richtung nach festzulegen, sondern auch die im Schienenstrange auftretenden Biege- und Schubspannungen an der Unterbrechungsstelle aufzunehmen, von einer Schiene zur andern zu übertragen und dem ganzen Schienenstrange eine nahezu gleichmäßige Tragfähigkeit zu geben. Dazu bedarf das Laschenpaar der gleichen Tragfähigkeit wie die Schiene selbst, das ganze Stoßgefüge aber einer Unterstützung, die, den vermehrten dynamischen Angriffen Rechnung tragend, die gleiche Standsicherheit besitzt wie die übrigen Schienenstützen. Zur Ausbildung des Stoßes in diesem Sinne erwies sich die gemeinsame Stoßschwelle mit festgelagerten Schienenenden zunächst wenig geeignet. Man verlegte die Stoßfuge zwischen die Schwellen, übertrug damit die Angriffe am Stoß gleichmäßig auf zwei Schwellen, verschaffte zugleich den Hauptangriffstellen, den Schienenenden, eine elastisch nachgiebige Lage, entlastete und schonte also Schienen, Schwellen und Gleisbett. Der Raum zwischen den beiden Stoßschwellen aber gab die beste Gelegenheit, die Laschenform frei auszubilden und ihre Tragfähigkeit schließlich auf die der Schienen zu erhöhen, ein hoch anzuschlagender Vorteil, dem wohl die allgemeine Aufnahme und weitere Pflege dieses schwebenden Stoßes in erster Linie zu verdanken ist. Die Entwicklung der Laschenform erhält dementsprechend ein bestimmtes Gepräge. Sie nimmt ihren Weg nach Abb. 76 von der Flachlasche über die Winkellasche zu der tief nach unten gezogenen, sehr tragfähigen Doppelwinkellasche. Die Länge der Laschen, die sich ursprünglich auf den freien Raum zwischen den Stoßschwellen beschränkte, wurde mit der Zeit so weit vergrößert, daß die Laschenenden feste Stützen über den Stoßschwellen fanden (Abb. 76, 5 und 6). Die Lasche erhält hiermit neben der Aufgabe, die Schienen stetig zu verbinden, die Eigenschaft eines festgelagerten Trägers, der die Schienen in weitgehendem Maße entlastet, dabei auch geringerem Stützflächendruck ausgesetzt ist wie die kurze Lasche.

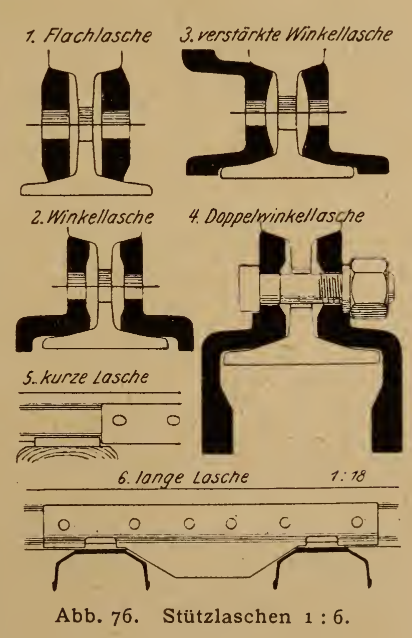


Abb. 76. Stützlaschen 1 : 6.

Die Lasche erfüllt ihren Zweck um so vollkommener, je fester sie mit der Schiene verspannt ist und je flacher geneigt ihre Stützflächen sind. Das

Neigungsverhältnis wurde daher weiter verringert, in Deutschland bis 1 : 4, in Belgien bis 1 : 5, und die Zahl der Laschenschrauben bis auf sechs vermehrt. Noch weiter zu gehen, wäre zwecklos, weil übertriebene Spannung die Längsdehnung der Schienen in unzulässiger Weise beeinträchtigen würde. Trotz dieser Maßregeln und trotz der Vergrößerung der Laschenstützflächen an den verbreiterten Schienenköpfen ist nicht zu vermeiden, daß die Stützflächen sich vorzeitig abnutzen und die Stetigkeit der Verbindung nachläßt oder ganz verlorengeht. Bei dem ungleichmäßigen Verschleiß aber ist es ausgeschlossen, die angegriffenen Laschen bis zur vollen Anlage nachzuspannen. Diesem Mangel kann zwar bis zu einem gewissen Grade abgeholfen werden, wenn nach Abb. 77 die Lasche von Anfang an nur mit einzelnen kurzen Stützflächen an den meistbeanspruchten Stellen versehen wird, doch geht hierdurch die Stetigkeit der Verbindung bei aufwärts gerichtetem Druck, wie er bei Wellenbewegungen unter der rollenden Last oder bei scharfem Hochstopfen der Schwellen auftritt, leicht verloren. Versuche mit diesen Laschen führten nicht zu dem erwarteten Erfolg. Vollkommener, wenn auch weniger einfach, wird der gleiche Gedanke von Zimmermann*) verkörpert, indem er nach Abb. 78 an jeder Laschenschraube eine kurze verstellbare Stützplatte a einfügt, die als Einzelstütze den Druck vom Schienenkopf auffängt. Fr. Hoch ersetzt die Laschen durch je ein Paar Längskeile, denen er neben der Nachstellbarkeit eine größere Starrheit in der Verbindung der Schienenenden als besondern Vorzug zuschreibt**).

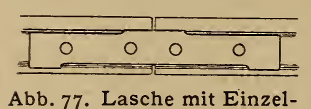


Abb. 77. Lasche mit Einzelstützen.

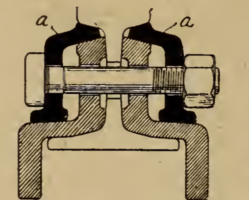


Abb. 78. Keillasche von Zimmermann.

Als allgemeiner Vorzug nachstellbarer Laschen wird ferner geltend gemacht, daß sie bei starkem Anspannen die Schienenenden anheben, niedergefahrene Stöße also auf ihre alte Höhe zurückführen, oder neuen Stößen von Anfang an eine geringe Überhöhung geben können, um dem schnellen Ausbilden von Stoßknicken entgegenzuwirken. Doch nicht nur durch den Verschleiß an den Laschenstützflächen, sondern auch durch die Einschliffe an den Schienen (vgl. Abb. 23, 2) wird das Nachspannen unwirksam, erreicht überhaupt seine Grenze, sobald die Lasche den Schienensteg berührt, ein Zustand, der bei flacher Neigung der Stützflächen in alten Gleisen nicht selten zu finden ist. Es erübrigt dann nichts, als die verschlissenen Laschen durch neue, etwas höhere zu ersetzen, oder die alten Laschen aufzupressen, dabei etwas nach oben zu sprengen, so daß sie sich möglichst genau der Form der ausgeschlagenen Laschenkammern anpassen (Abb. 79).



Abb. 79. Gesprengte Lasche 1 : 18.

*) Die Bedingungen einer dauerhaften Schienenstoßverbindung, Zentralblatt d. Bauverwaltung 1892.

**) Verkehrstechnische Woche 1913 S. 12.

Um nun dem Hauptübel der einfachen Verlaschung, dem großen Laschendruck an den schmalen Stützflächen, zu begegnen, war man schon frühzeitig bestrebt, neue Stützflächen zu schaffen, wozu die breite Fußfläche der Schiene geeignete Handhabe bot. Schuler stützt die Schienenenden auf nachstellbare Keile a Abb. 80, die in den unteren Schenkeln der Laschen ruhen. Doch gelang es nicht, den Keilverschluß dauernd fest zu erhalten und schnellen Abnutzungen der ganzen Keilvorrichtung nebst ihrem Lager in den Laschen, auch Laschenbrüchen, vorzubeugen. Man nutzte sodann den Schienenfuß in weiterem Umfange aus in der Fußlasche nach Abb. 81, auch mit unterer Spannschraube nach Bochumer Art. Wenn auch ein guter Schluß der nun entstandenen drei Stützflächen im neuen Zustand bei genauer Arbeit erreicht werden kann, so ist es doch bei zunehmendem Verschleiß, dem nach den Beobachtungen hauptsächlich die untersten Stützflächen unterworfen sind, auch hier nicht möglich, die Laschen nachzuspannen. Man suchte, durch Keile unter den Enden der Schienen nachzuhelfen, oder trennte die Fußverlaschung ganz und gar von der Seitenverlaschung und näherte sich, die Fußlasche weiter verstärkend, einer bereits bestehenden Stoßform, der Stoßbrücke.



Abb. 80. Keilstoß von Schuler 1 : 18.

Abb. 81. Fußlasche 1 : 6.

Stoßbrücken.

Die Stoßbrücke bildet einen selbständigen, auf den Stoßschwellen festgelagerten Träger, in seiner vollkommensten Form kräftig genug, die Schub- und Biegespannungen am Stoß in senkrechter und wagerechter Richtung aufzunehmen und die Laschen so weit zu entlasten, daß sie nur noch für die äußere Stetigkeit an den Schienenenden einzutreten haben. Es ist daher zulässig, sogar vorteilhaft, die Laschen schwächer zu halten und zu befähigen, den elastischen Bewegungen der Stoßbrücke ohne großen Zwang zu folgen. Der Schienenfuß ruht in der Regel voll auf der Stoßbrücke (Abb. 82, 1), doch steht nichts entgegen, durch Einschalten von Unterlagplatten oder Ausarbeiten der Brückenplatte Einzelstützen zu bilden und mit deren Hilfe die Last in bestimmterer Weise auf Brücke und Unterlagen zu übertragen (Abb. 82, 2). Die Stützung im Gleisbett kann durch engere Schwellenteilung unterhalb der Brücke beliebig gestärkt werden. In einfachster Form erscheint die Stoßbrücke auf der bayerischen Staatsbahn als verlängerte Hakenplatte (Abb. 83), auf der preußischen Staatsbahn als Verbindungsstück zwischen gekuppelten eisernen Stoßschwellen (Abb. 84), dessen fehlerfreie Herstellung und genügend tragfähige Ausbildung jedoch auf Schwierigkeiten stieß, in Haarmanns Starkstoß schließlich als aufgelegte Brücke aus Stahlguß (Abb. 85). Die Pennsylvania-Bahn verwendet Stoßbrücken in Längen bis 1,778 m.

Bisher sind Stoßbrücken nur in kleineren oder größeren Versuchsstrecken verlegt worden. Als Ergebnis der Versuche wird im allgemeinen die gute dauerhafte Lage des Stoßes hervorgehoben, die aus der günstigen Lastübertragung auf Schwelle und Untergrund wohl erklärlich ist. Auch sollen die Schienen weniger angegriffen werden. Allerdings erleidet die Brückenplatte unter der vollgelagerten Schiene ungleichmäßigen Verschleiß, es entstehen unter den Schienenenden tiefere Einschläge und schließlich Stoß-

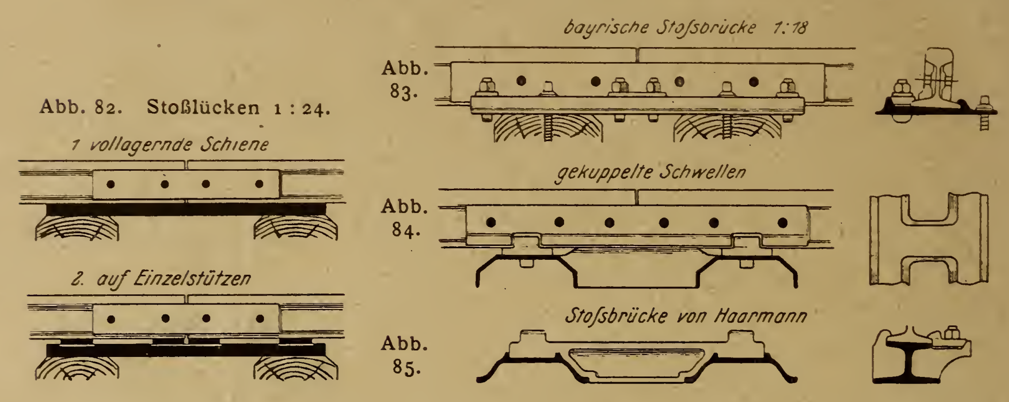


Abb. 82. Stoßlücken 1 : 24.

Abb. 83.

Abb. 84.

Abb. 85.

knicke, namentlich wenn die Schienenenden von vornherein nicht gleich hoch sind. Der Verschleiß ist an den Stoßbrücken daher ähnlicher Art wie an den Laschen, geht indessen langsamer vor sich als bei reiner Laschenverbindung. Er wird überhaupt stets in gleicher Form auftreten, wenn langgestreckte Berührungsflächen nicht durch Nachspannen in dauerndem, vollem Anschluß erhalten werden können, eine Erscheinung, die im Gleisbau besondere Beachtung verdient.

Schwellenteilung am Stoß.

Ein anderes, nach allseitiger Erfahrung besonders wirksames Mittel, die Stoßlage zu kräftigen, ist durch enge Lage der Stoßschwellen gegeben. Je dichter die Schwellen liegen, desto mehr verteilt und verringert sich der Bettungsdruck, desto größer aber wird anderseits die Widerstandsfähigkeit des Gleisbettes, desto geringer schließlich die Spannung in den Schienen und Laschen. Der Schwellenabstand war früher durch die Forderung begrenzt, jede Schwelle von beiden Seiten unterstopfen zu können. Er betrug in Preußen für 26 cm breite Holzschwellen von Mitte zu Mitte am Stoß bis 54 cm, in Bayern und Frankreich bis 42 cm, für eiserne Schwellen bis 34 cm. Seitdem jedoch erprobt ist, daß auch durch einseitiges Stopfen den Schwellen festes Lager gegeben werden kann, hat man in neuster Zeit auch die Holzschwellen am Stoß bis auf wenige Zentimeter freien Zwischenraums zusammengerückt mit bisher durchaus günstigem Erfolg. Die preußische Staatsbahn ging noch einen Schritt weiter, indem sie nach Abb. 86 die Stoßschwellen lückenlos aneinanderfügte, die Holzschwellen durch Dübel oder Schrauben verkuppelte, die Eisenschwellen nach Gelbkes Vorschlag zu einer einzigen Doppelschwelle vereinigte. Bei so dichter Schwellenlage war kein

Raum mehr für die kräftigen, tief hinabreichenden Doppelwinkellaschen, man mußte sich mit den schwächeren Flach- oder Winkellaschen begnügen in der Annahme, daß die Laschen durch das festere Lager des Gleises in der Bettung genügend entlastet würden (Abb. 87). Ob tatsächlich die schwächere Laschenverbindung auf die Dauer imstande ist, die Stetigkeit der Schienenlage nach allen Richtungen zu wahren, muß weitere Erfahrung zeigen. Es darf nicht übersehen werden, daß die Anlaufschwelle stärkeren Angriffen durch die Schläge am Stoß ausgesetzt ist als die Ablaufschwelle, in doppelgleisigem Betriebe daher geneigt ist, tiefer in das Gleisbett einzusinken und wiederum stärkere Spannungen in die Laschen zu übertragen.

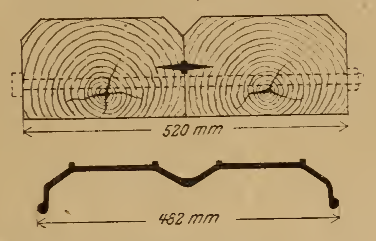


Abb. 86. Doppelschwellen 1 : 12.

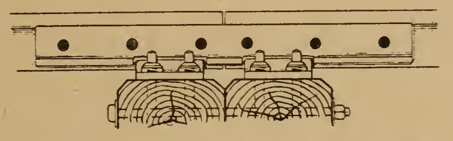


Abb. 87. Preußischer Doppelschwellenstoß 1 : 18.

Schon mit den kräftigen langen Laschen, mehr noch mit der Stoßbrücke schwindet fast ganz der Hauptvorzug, der dem schwebenden Stoß beigelegt wurde, das elastische Lager der Schienenenden, weiter aber entfällt mit dem engen Zusammenrücken der Stoßschwellen die gute Gelegenheit, den Laschenquerschnitt zwischen den Schwellen zu kräftigen. Die Stoßunterstützung nimmt mehr die Eigentümlichkeiten des festen Stoßes an, d. h. der unmittelbaren Unterschwellung der Schienenenden. In neuerer Zeit machen sich auch Bestrebungen geltend, zum ausgesprochen festen Stoß zurückzukehren, um mit seiner Hilfe die Laschen in weitestem Umfange zu entlasten, die Laschenstützflächen und Schienenenden zu schonen und die Stetigkeit der Fahrfläche an den festgelagerten Schienenenden zu sichern. Die notwendig kräftigere Unterstützung im Gleisbett aber glaubt man durch breitere Stoßschwellen und dichtere Schwellenlage in der Umgebung des Stoßes erreichen zu können. Die Kaiser-Ferdinands-Nordbahn erzielte nach ihren Berichten mit festem Stoß auf 31 cm breiten Stoßschwellen durchaus gute Erfolge*). Es mag dahingestellt sein, ob im doppelgleisigen Betriebe sich nicht die bekannte Erscheinung wiederholt, daß die stärker angegriffene Anlaufschiene und ihre Lagerstelle mehr nachgiebt als die Ablaufschiene, und daß mit der Zeit Stoßstufen entstehen mit allen schädlichen Folgeerscheinungen, wenn nicht für nachstellbare Lager unter jedem Schienenende gesorgt ist. Beim festen Stoß wird ferner nicht zu übersehen sein, daß die Wärmedehnung der Schienen sich nicht nur an den Laschenstützflächen, sondern auch an den Schienenbefestigungsstücken der einheitlichen Stoßschwelle äußert, daß diese Stücke daher eines kräftigen

Fester Stoß.

*) Vgl. Ast. Organ 1900, Ergänzungsband.

Schutzes gegen Längsschub bedürfen. Zur Erläuterung der an einen festen Stoß zu stellenden Aufgaben mag Abb. 88 dienen. Die Schienenenden ruhen auf einem Stoßstuhl aus Eisen- oder Stahlguß mit zwei flachgewölbten, nahe zusammenliegenden Schienenlagern (Abb. 88, 5) und werden durch die gemeinsamen Klemmplatten a angedrückt (Abb. 88, 6), die in der Mitte ausgeklinkt, nur mit ihren Enden über den Schienenlagern wirken. Allein durch Anziehen der Klemmschraube ist es daher möglich, die Klemmplatte sowohl als die beiden Lagerflächen am Stuhl stets, auch bei Verschleiß, in festem Schluß mit dem Schienenfuß zu erhalten. Die Klemmplatten stützen sich in der Längsrichtung gegen Ansätze b des Stuhles, ebenso die ausgeklinkten Laschen, so daß alle Längsschübe lediglich vom Stuhl aufgenommen werden, ohne die Klemmschraube zu belasten. Die Laschen können nach Bedarf zur

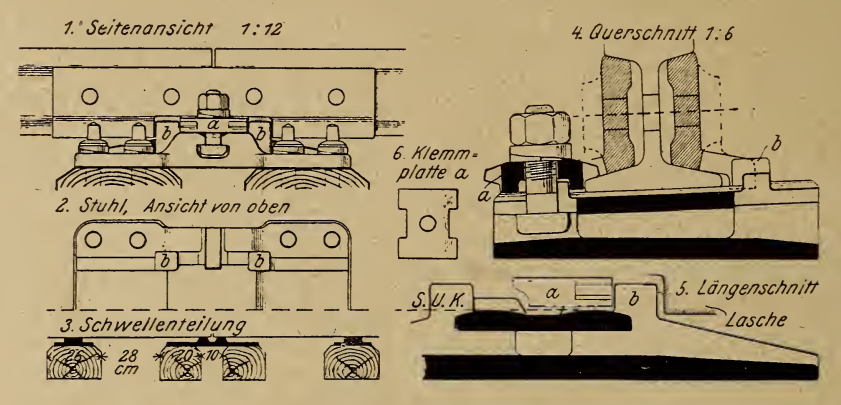


Abb. 88. Fester Stoß.

bessern Querversteifung des Stoßes nach Abb. 88, 4 verstärkt werden. Als Unterstützung sind einheitliche breite oder eng gelegte, durch den Stuhl verkuppelte schmalere Schwellen, etwa nach Abb. 88, 3, verwendbar. Ein geringer Zwischenraum zwischen den gekuppelten Schwellen stört die Tragfähigkeit des Gleisbettes nicht, scheint vielmehr vorteilhaft, weil er die Grundfläche der ganzen Stoßunterstützung verbreitert und zur gleichmäßigeren Lastübertragung auf Schwellen und Gleisbett beiträgt. Dem stärkeren Angriff auf die Anlaufschwelle im doppelgleisigen Betriebe kann begegnet werden durch größere Breite der Anlaufschwelle oder durch Verschieben des Stuhles auf den Schwellen entgegen der Fahrrichtung. Überhaupt erscheint es zweckmäßig, in dem Bau des Stoßes die Schwellenentfernung nicht von vornherein festzulegen, sondern in gewissen Grenzen beweglich zu halten, um die Schwellen je nach der Beschaffenheit des Gleisbettes und der Art des Lastangriffes dem wirklichen Bedürfnis entsprechend verteilen zu können.

Gedeckter Stoß. Sehr weit zurück reichen die Versuche, die Mängel des Schienenstoßes an ihrem Ursprung, der Stoßfuge, anzugreifen, diese entweder ganz zu be-

seitigen oder durch Deckstücke zu entlasten. Der bis in die neuste Zeit weit verbreitete Blattstoß löst die einheitliche Stoßfuge in zwei gedeckte Halbstöße auf, gewinnt damit zwar eine lückenlose, stoßfrei befahrene Lauffläche, schwächt aber die Schiene im Bereiche der Blätter in sehr empfindlicher Weise (Abb. 89). Die Blätter werden an ihren schmalen Laufflächen verdrückt, an den scharfen Kanten der Längsfuge splittrig und bröcklig, brechen auch häufig an den Ansatzstellen. Der Blattstoß wurde daher in Hauptfahrgleisen fast ganz aufgegeben, ebenso die zweiteilige Schiene mit durchlaufender Längsfuge. Die Schienenenden werden offenbar am wirksamsten geschützt, wenn es gelingt, sie vollständig oder wenigstens in weitem Maße den Radangriffen zu entziehen. Dazu bedarf es besonderer Tragstücke an den Schienenenden, ihrer Form nach geeignet, die Last stoßfrei von der einen Schiene abzunehmen und an die andere Schiene zurückzugeben. Das setzt eine stetige Lauffläche voraus, nicht nur in senkrechtem, sondern auch in wagerechtem Sinne. Aus dieser Forderung entstand die Stoßfanglasche (Abb. 90), die in ihrem oberen Teil als halber Schienenkopf ausgebildet, sich voll in die blattförmig ausgearbeiteten Schienenenden einlegt, während die ausgeklinkten Enden nach gewöhnlicher Laschenart in die Laschenkammern der Schiene eingreifen. Aber auch hier blieb der erwartete Erfolg aus, die Schienenblätter und Fanglaschen erwiesen sich den Angriffen gegenüber zu schwach und erlitten ähnliche Verdrückungen wie der Schienenblattstoß. Die sächsische Staatsbahn vermeidet jedes Schwächen der Schienen am Stoß und führt die äußere Lasche als Auflauflasche neben dem vollen Schienenkopf bis zur Schienenoberkante hinauf (Abb. 91). Hiermit wird allerdings die Stetigkeit der Lauffläche ganz aufgegeben, das Rad läuft auf der Lasche mit anderem Laufkreis als auf der Schiene, das ausgelaufene Rad stößt auf das rampenförmig gestaltete Ende der Lasche, wird gehoben, um am andern Ende der Lasche auf die Schiene zurückzukehren. Es entstehen also zwei Schlagstellen, die erste an der Lasche, die zweite an der Anlaufschiene. Die Rampe der Lasche, gegen die das Rad anläuft, ist im Verhältnis 1 : 30 geneigt, also etwa ebenso steil wie die stärksten Stoßknicke. Die entstehenden Schlagwirkungen sind daher keineswegs unerheblich. Ob nun ihre Schäden von den Vorteilen der Auflauflasche überholt werden und ob sie etwa durch verbesserte Form der Lasche gemildert werden können, scheint durch die bisherigen Erfahrungen noch nicht sicher geklärt zu sein. Während von einigen Bahnverwaltungen

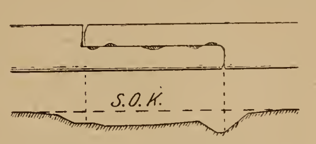


Abb. 89. Blattstoß abgenutzt.

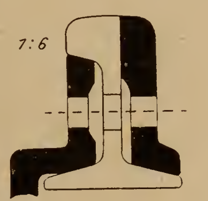


Abb. 90. Stoßfanglasche von Neumann.

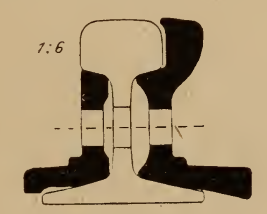


Abb. 91. Sächsische Auflauflasche.

die Versuche mit diesen Laschen als aussichtslos aufgegeben sind, werden sie von anderen, namentlich der sächsischen Staatsbahn, fortgesetzt. Ähnlich wirken Auflaufschienen, die Kopf an Kopf neben der Fahrschiene gelagert und mit dieser in der Regel durch abstützende Futterstücke verkuppelt sind. In der Melaunschen Stoßdeckung (Abb. 92) werden die Köpfe der Schienenenden in ganzer Höhe ausgeschnitten und durch ein hutförmiges, auf eine Stoßbrücke gestütztes, etwa 45 cm langes Einsatzstück ersetzt, das in seiner Verlängerung als Lasche ausgebildet ist. Die Anordnung bedeutet einen zweifachen stumpfen Stoß, sie wird namentlich in Straßengleisen zum Aufbessern alter eingeschlagener Stöße angewendet und gilt als geeignetes Mittel, diese für längere Zeit wieder in brauchbaren Zustand zu setzen.

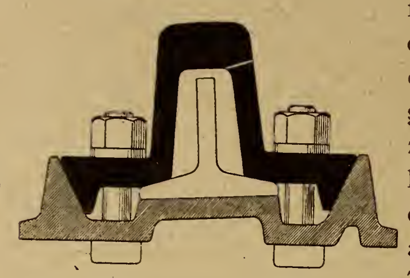


Abb. 92. Stoß von Melaun 1 : 6.

Alle Schäden des Schienenstoßes verhütet offenbar am gründlichsten der stoßlose Schienenstrang. Er wird tatsächlich durch Verschweißen der Schienen miteinander oder auch mit den Laschen gewonnen, ist indessen nur am Platze und auch weit verbreitet in festeingebauten Straßengleisen, die nicht dem vollen Wärmewechsel der Luft ausgesetzt, dabei gegen seitliches Ausweichen genügend gesichert sind. In offenen Gleisen sind wohl Schienenstränge in 100 m Längen und mehr in gleicher Weise zusammengefügt, jedoch ohne den gewünschten Erfolg, weil die verbleibenden Stöße mit ihren erweiterten Stoßfugen um so heftigeren Angriffen ausgesetzt sind.

Schlußfolgerung.

Von keiner der bisher verwendeten Stoßdeckungen ist nachgewiesen worden, daß sie dem einfachen stumpfen Stoß überlegen sei. Dieser ist daher bis jetzt die weitaus verbreitetste Stoßform geblieben. Seine offenbaren Mängel ganz beseitigen zu wollen, ist aus physikalischen Gründen aussichtslos. Denn wenn es auch gelingt, durch Verstärken der einzelnen Bestandteile, durch erhöhte Ansprüche an die Festigkeit des Schienenstoffes, an genaue Arbeit und fehlerloses Zusammenpassen des Stoßgefüges, durch kräftige und sicher gelagerte Unterschwellung diese Mängel abzuschwächen, so bleibt doch als Quelle des Übels die Stoßfuge, an der die weniger widerstandsfähigen, dabei stärker beanspruchten Stirnkanten stets schnelleren Formänderungen unterliegen als die volle Schiene außerhalb des Stoßes. Wie der Verschleiß an der Stoßfuge vor sich geht, wie schon bald im neuen Gleise steile kurze Stoßknicke entstehen, die gewaltsame Schläge und Bewegungen an Rad und Schiene nach sich ziehen, wurde bereits in den Abbildungen 10 bis 12 veranschaulicht. Diese Bewegungen nach Möglichkeit einzudämmen, wird das Hauptziel der Stoßgestaltung sein. Der nach unten gerichtete Stoßknick zwingt das Rad stets in plötzlich und zwangweise abgelenkte Bahn. Wird aber dem Stoß eine geringe Überhöhung gegeben, so

behält das Rad größere Bewegungsfreiheit, schlägt weniger hart auf die Anlaufschiene. Die gesprengte Lasche (Abb. 79) und die Keilstütze (Abb. 80) zielen auf solche Stoßform hin. Auch an den kräftigen mit Doppelschwellen unterstützten Stößen wurden Stoßüberhöhungen beobachtet, und es dürfte nicht ausgeschlossen sein, daß bei bestimmterer Ausbildung dieser Form, etwa nach Abb. 93, der Stoß in vorteilhafter Weise entlastet werden kann. Die zunächst überschüssige Höhe würde dabei der später unvermeidlichen Abnutzung zugute kommen. Auf den Gang der Fahrzeuge aber haben geringe Überhöhungen keinen nachteiligeren Einfluß wie ebenso große Senkungen.

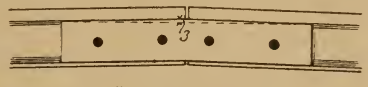


Abb. 93. Überhöhter Stoß 1 : 18.

Von den europäischen Bahnen wird Wert darauf gelegt, daß die Schienenstöße im Gleise genau rechtwinklig gegenüberliegen, um an ausgeschlagenen Stößen den Fahrzeugen keinen Anlaß zu Seitenschwankungen zu geben. In Amerika dagegen ist die Gewohnheit weit verbreitet, die Stöße auf halbe Schienenlänge zu versetzen, wohl um die senkrechten Schläge der Fahrzeuge zu mildern. Gleiche Versuche mit Wechselstoß in Deutschland waren ohne günstigen Erfolg, führten vielmehr zu verstärkten Angriffen auf die volle Schiene gegenüber dem Stoß, wurden daher nicht weiter verfolgt. Gleichstoß, Wechselstoß.

Elastische Zwischenlagen.

Sehr beachtenswerte, in neuerer Zeit mehr eingeführte Hilfsmittel zum Sichern und Kräftigen der Gleisverbindungen sind elastische Spanneinlagen. Sie werden schon seit langer Zeit benutzt, um selbsttätiges Lösen der Schraubenmuttern, das nur im spannungslosen Zustande eintritt, zu verhindern, haben sich auch in dieser Hinsicht wirksamer erwiesen als andere Mittel, die nicht imstande sind, die Schrauben in Spannung zu erhalten, wie aufgebogene Unterlagbleche, Splinte, Keile, Kappen u. a. Mit zunehmender Sicherheit im Zubereiten von Federstahl wurden sie auch zum Übertragen bestimmter, unveränderlicher Spannungen zwischen den verbundenen Gleisstücken weiter ausgebildet. Wenn den Schrauben auch allein durch Anziehen eine beliebige Spannung erteilt werden kann, so wird diese doch beeinträchtigt, oft ganz aufgehoben durch Verschleiß und dauerndes Nachgeben der verbundenen Stücke, so daß unsicher ist, ob und in welchem Maße die Verbindung auf die Dauer tatsächlich gespannt bleibt. Die Feder gleicht diesen Spannungswechsel aus. Werden z. B. unter den Köpfen der vier Schwellenschrauben einer Stuhlplatte federnde Zwischenlagen von je 250 kg Spannkraft eingeschaltet, so wird die Platte stets auch im unbelasteten Zustande oder nach mäßiger Abnutzung der Schwelle mit nahezu 1000 kg gegen die Schwelle gepreßt bleiben. Sie kann sich also nie von der Schwelle ablösen, bei dem großen Gleitwiderstand auf der teergetränkten Schwelle auch nicht leicht verschieben, also keine schädlichen Angriffe auf das Schwellen- Zweck.

lager ausüben. Die Feder gibt ferner eine Handhabe, zu starke Spannungen auszuschalten, wenn die Schrauben nicht stärker angezogen werden als das Federspiel beträgt. Solche Einschränkungen sind besonders nützlich an den Laschenschrauben, auch an den Schwellenschrauben in weichen Hölzern.

Federplatten. Die Form der elastischen Spannglieder ist die Platte oder der Ring. Die gebräuchlichen Federplatten (Abb. 94, 1 und 2) übertragen sehr hohen Druck, oft bedeutend mehr als 1000 kg, haben aber bei geringer Länge nur geringes Federspiel, selten mehr als 2 mm. Sie eignen sich besonders zu sehr kräftigen Verbindungen von Eisenstücken untereinander, wie der Schienen mit Stuhlplatten oder mit eisernen Schwellen. Soll dagegen die Federspannung ein bestimmtes Maß behalten und ein größeres Federspiel erreicht werden, so bedarf es längerer Platten oder mehrerer kurzer Platten übereinander. In Abb. 94, 3 ist eine nach Bochumer Muster mit 7 mm Federspiel für je zwei Laschenschrauben eingerichtete Platte dargestellt, die vor der Einlochplatte Abb. 94, 1 außerdem den Vorzug hat, daß sie an der ungünstigsten Stelle nicht durch das Schraubenloch geschwächt wird, anderseits allerdings den Nachteil hat, daß ihre Länge von dem wechselnden Abstand der Schrauben abhängig ist.

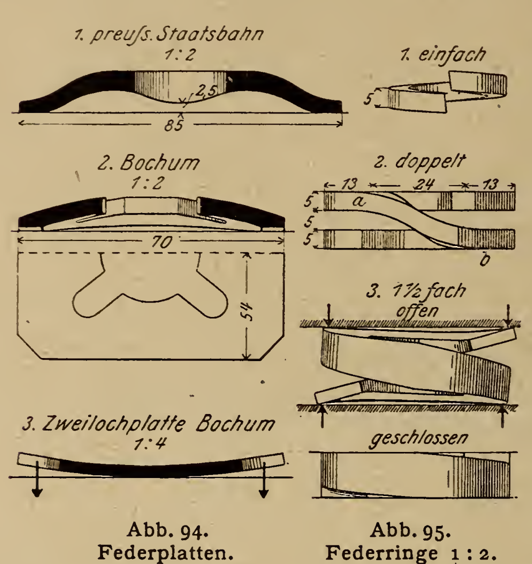


Abb. 94. Federplatten.

Abb. 95. Federringe 1 : 2.

Federringe. Der Federring (Abb. 95) ist der Platte gegenüber insofern im Vorteil, als er nicht mehr Fläche beansprucht wie die Schraubenmutter oder der Schraubenkopf, also in jede Schraubenverbindung leicht eingefügt werden kann. Daneben aber kann der ringförmig mehrfach gewundenen Feder eine so reichliche Länge gegeben werden, daß sie schon bei mäßigem Druck hohes Federspiel besitzt. Sie eignet sich daher besonders für Holzschrauben, folgt dem elastischen und dauernden Zusammenpressen des Holzes ohne großen Verlust an Spannkraft und schützt die Holzgewinde vor Überanstrengung. Dem Federring wird oft Zerbrechlichkeit, Nachlassen der Spannkraft und exzentrische Belastung der Schraube vorgeworfen, Mängel, die wohl nur unzweckmäßigen Formen eigen sind. Z. B. ist an dem preußischen doppelten Federring (Abb. 95, 2) das ganze Federspiel von 5 mm allein von dem kurzen Stück a—b aufzunehmen, was allerdings Überanstrengungen zur Folge haben muß. Exzentrische Schraubenspannungen aber entspringen aus der üblichen Form der einfach und doppelt gewundenen Federringe. Wird dagegen der Federring in seiner ganzen Länge gleich-

mäßig an der elastischen Arbeit beteiligt, sein wechselnder Querschnitt an jeder Stelle den Angriffsmomenten angepaßt, wird ihm ferner eine anderthalb- oder zweieinhalbfache Windung gegeben, so können örtliche Überanstrengungen im Ring und exzentrische Wirkungen wohl vermieden werden. Diese Erfordernisse würden etwa zu der in Abb. 95, 3 dargestellten oder zu einer ähnlichen, der Massenherstellung anzupassenden Form führen.

Federnde Befestigungsstücke.

Kräftig ausgebildete Federn sind auch unmittelbar als Befestigungsstücke zu benutzen, z. B. als Klemmplatten oder federnde Keile. Die Unsicherheit, die dem starren Keilverschluß infolge der Erschütterungen und Längsschübe im Gleise anhaftet, kann gehoben werden, wenn er ähnlich der Schraube unter dauernder Spannung erhalten bleibt, entweder durch besondere Federansätze und Federeinlagen oder besser durch Ausbilden des Keiles selbst als Feder mit Sicherung gegen Längsschub, etwa nach Abb. 96. Federnde Verbindungsstücke dieser Art setzen selbstredend einen vorzüglichen Federstahl voraus, der seine ursprüngliche Federkraft auf die Dauer ungeschwächt beibehält. Sie würden auch nur mit geringem Federspiel auszustatten, daher ausschließlich für harte, unnachgiebige Verbindungen zwischen Eisen und Eisen verwendbar sein. Noch weitergehende Ansprüche an den Federstahl stellt der Vorschlag*), das ganze Gestänge durch tragende Blattfedern unterhalb des Schienenfußes auf den Schwellen abzufedern, also eine vollkommen und gleichmäßig elastische Bahn zu schaffen, welche die Stoßangriffe etwa nach Art von Wagenfedern, aber mit geringem Spiel auffängt. Solche Federn würden etwa so wirken wie sehr elastische Schwellen, könnten daher als Aushilfe für unelastische, namentlich eiserne Schwellen in Frage kommen, vorausgesetzt, daß es gelingt, die Federung in eine einfache und dauerhafte Bauart einzukleiden.

1. glatter Keil
2. Keilfeder

Abb. 96. Federnde Keile.

Schutzmittel gegen Wandern der Schienen.

Der Längsschub im Gleise äußert sich im Wandern der Schienen auf den Schwellen oder des ganzen Gleises in der Bettung, je nach dem Widerstande, den die eine oder die andere Stelle bietet. Der Widerstand in der Bettung ist durch den Bettungsstoff und durch die Form der Schwellen in ziemlich bestimmten Grenzen festgelegt. Der vollkommenste Zustand ist nun vorhanden, wenn der Widerstand am Schienenlager mindestens ebenso groß ist als im Gleisbett. Wie bereits erörtert, kann dieser Zustand durch dauernd starke Spannung zwischen der Schiene und ihrem Lager erreicht werden. Ist er indessen nicht vorhanden, so müssen besondere Hilfsmittel

*) Organ 1893 S. 184.

eintreten. Sie bestehen meistens in einzelnen Stützkörpern, die fest mit den Schienen verbunden, seitlich gegen die Schwelle lehnen. Man nahm zuerst gewöhnliche ausgeklinkte Schienenlaschen, die sich zwischen zwei Schwellen oder deren Unterlagplatten einlegen oder letztere umfassen, so daß sie gleichzeitig auf beide Schwellen und nach jeder Richtung wirken. Um sich von der Schwellenteilung und von Bohrungen in den Schienen frei zu machen und bessere Stützflächen an den Schwellen zu gewinnen, ging man zu den Schienenklemmen über, die durch Keile oder Spannschrauben am Schienenfuß angeheftet in ihrem unteren Teil der Schwelle eine breite Stützfläche bieten. Abb. 97 zeigt unter 1 eine der gebräuchlichsten Keilklemmen der Bauart Paulus, welcher gleich den sonstigen Keilklemmen die Absicht zugrunde liegt, unter dem Gegendruck der Schwelle den Keil selbsttätig in Spannung zu erhalten. Zuverlässiger gegen Lockern als die Keilklemmen haben sich im allgemeinen die Schraubenklemmen erwiesen, von denen eine weit verbreitete Bauart in Abb. 97, 2 dargestellt ist.

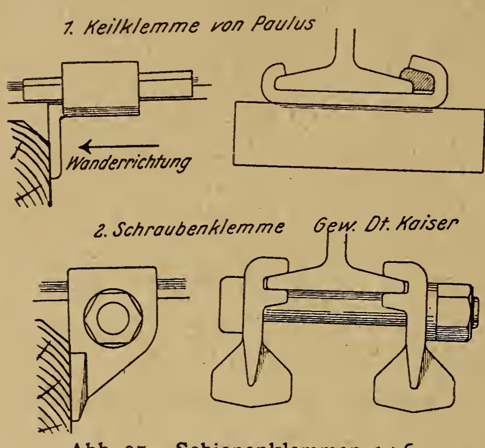


Abb. 97. Schienenklemmen 1 : 6.

Die Klemmen wurden zunächst an einzelnen, später an einer größeren Anzahl Schwellen im mittleren Teil der Schienen im Sinne der hauptsächlichsten Wanderrichtung des Gleises angebracht. Doch ist auf vielen Gleisstrecken, nicht nur im eingleisigen, sondern auch im doppelgleisigen Betriebe, die Wanderrichtung durchaus unbestimmt und wechselnd, so daß Lücken zwischen Schwellen und Klemmen häufig über lange Strecken zu beobachten sind. Soll die Widerstandsfähigkeit der Bettung voll ausgenutzt werden, so sind Klemmen an allen Schwellen, auf vielen Strecken aber auf beiden Seiten der Schwellen nötig. Berücksichtigt man, daß die Klemmen eine stetige und lästige Erschwernis der Gleisunterhaltung bilden, so wird man ihnen kaum einen größeren Wert als den eines Notbehelfes bei unvollkommener Schienenbefestigung beimessen können.

Das Gleisbett.

Bettungstoff. Die Bettung bildet das Fundament des Gleises, das die Gleislast auf den breiten Untergrund zu übertragen hat. Sie muß neben genügender eigener Tragfähigkeit die weitere Fähigkeit haben, die von den Schwellen ausgehenden Einzeldrücke zu verteilen und in dem Maße auszugleichen, wie es die Tragfähigkeit des Untergrundes verlangt. Doch ist eine an sich tragfähige aber starre Unterlage, wie Beton, als Gleisbett der freien Strecke un-

geeignet, weil sie nur mit sehr großem Kostenaufwand standhaft herzustellen ist, weil sie ferner nicht vermag, die Erschütterungen und sonstigen dynamischen Angriffe ohne Schaden elastisch aufzunehmen, daher dem Verschleiß an allen Teilen des Gleises Vorschub leistet, dem unvermeidlichen Nachbessern der Gleislage aber die größten Schwierigkeiten bereitet. Zwar wird die elastische Tätigkeit zum Teil von den Holzschwellen oder besonderen elastischen Einlagen übernommen, bleibt aber in allen Fällen, namentlich im Eisenschwellengleise, hauptsächlich dem Unterbau vorbehalten. Allgemein wird daher das Gleisbett als lose Schüttmasse hergestellt, die im Verein mit dem Untergrund einen einheitlichen elastischen Körper bildet, das Nachbessern der Gleislage aber in einfachster Art durch Unterstopfen der Schwellen ermöglicht.

Die gebräuchlichsten Stoffe für das Gleisbett sind Kies und Steinschotter. Der Kies besteht aus Trümmern harter, wetterfester Gesteine, meistens Kieselgesteine, und wird in natürlichen Lagerstellen auf dem Lande oder im Flußgebiet zum Teil in verwendbarem Zustande vorgefunden, andernteils durch Aussieben der feinen Bestandteile aufbereitet. Bei Auswahl der Gesteine für Schotter ist in erster Linie auf Wetterbeständigkeit, weiter auf Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnutzung Gewicht zu legen. Je nach der verfügbaren Gesteinsart kommen hauptsächlich in Frage Basalt, Porphyr, Grauwacke, Kohlensandstein, Granit, Quarzit, Diorit, Kalkstein. Sehr hartes, sprödes Gestein, wie Basalt, greift die eisernen Schwellen an, leidet auch unter der Stopfhacke mehr als weniger hartes, aber zähes Gestein. Nach neueren Erfahrungen scheinen gewisse Arten von Grauwacke, sowohl wegen ihrer Festigkeit und Zähigkeit, als auch wegen ihres ebenen und scharfkantigen Bruches, der dem Korn eine besonders standfeste Lagerung verleiht, den geeignetsten inländischen Stoff für Gleisschotter zu bieten.

Das Kiesbett mit seinem abgerundeten Korn besitzt gegen seitliches Verdrücken nur mäßigen Widerstand, der durch Erschütterungen weiterhin erheblich beeinträchtigt wird, fordert daher enge Schwellenteilung. Ferner läßt sich das runde rollende Korn nur schwer feststopfen, wenn es nicht durch feinere bindende Bestandteile zusammengehalten wird. Reichlicher Feingehalt aber hält die Nässe zurück und gibt Anlaß zu Schlammbildungen, namentlich wenn er eine gewisse Korngröße, etwa von 1 mm, unterschreitet. So feine Bestandteile sollen daher nach den preußischen Vorschriften nicht mehr als 20 % im Bettungskies enthalten sein.

Viel günstiger verhält sich der scharfkantige Steinschotter, der an sich schon tragfähiger als Kies durch die Gleiserschütterungen wenig beeinflußt wird und nach Schubert etwa nur den dritten Teil der Stopfarbeit erfordert wie Kies. Seine Standfestigkeit wächst mit der Größe des Kornes, doch setzt die Rücksicht auf festes und gleichmäßiges Unterstopfen der Korngröße gewisse Grenzen, die sich nach den Erfahrungen auf deutschen Bahnen etwa zwischen 25 bis 60 mm bewegen, nach anderweitigen Vorschlägen

50 mm nicht übersteigen sollen. Schubert empfiehlt einen Zusatz von feinerem Korn bis 8 mm, Sammet*) für die Stopflage Feinschlag von 15 bis 35 mm, der das Stopfen erleichtert, die Schwellen schont und gleichmäßiger unterstützt als gröberes Korn. Um die Vorzüge größeren Kornes nutzbar zu machen, wird vielfach, anlehnend an den Straßenbau, die untere Lage des Gleisbettes aus grobem Stoff, die obere mindestens 10 cm starke Stopflage aus feinerem Schotter oder auch aus grobkörnigem Kies gebildet (Abb. 98). Die untere als dichtgesetzte und verzwickte Packlage ausgebildete Schicht ist besonders geeignet, außer dem senkrechten Druck auch den wagerechten Schub aufzunehmen, der sich bei starker Belastung namentlich in den unteren Bettungsschichten entwickelt. Die Schwierigkeit, in vorhandenen Betriebsgleisen nachträglich Packlage einzubauen, soll nicht verkannt werden, doch rechtfertigen ihre Vorzüge ausgedehnte Verwendung bei Neubauten, nach Möglichkeit auch bei Erneuerung alten Gleisbettes in schwerbelasteten Betriebsgleisen. Als Unterlage unter dem Schotterbett oder der Packlage sollte auf erdigem Boden stets eine wasser- und frostbeständige, mindestens 12 cm starke Schicht aus Sand oder Kies vorhanden sein, um den Bettungsdruck weiter nach unten auszugleichen und Schlammbildungen innerhalb des Gleises und Frostauftriebe vom Untergrund her auszuschließen. Sind starke Auftriebe oder Verdrückungen in sehr nachgiebigem Untergrund zu befürchten, so wird auf Packlage ganz zu verzichten sein.

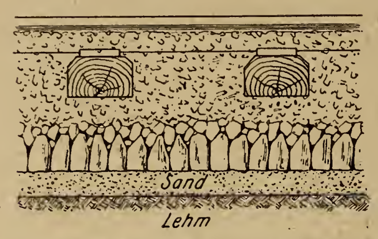


Abb. 98. Gleisbett mit Packlage 1 : 30.

Die großen Vorzüge des Schotterbettes mit oder ohne Packlage gegenüber dem Kiesbett haben auf den deutschen Hauptverkehrsstrecken fast allgemein dem Schotter als Bettungsstoff auch im Holzschwellenbau Eingang verschafft, selbst in steinarmen Landesteilen, in denen sich der Preis auf das Zwei- bis Dreifache des Kiespreises stellt. Im Eisenschwellenbau wird der Kies als zu wenig standfest und zu sehr den Einflüssen der Nässe unterworfen grundsätzlich ausgeschlossen.

Form des Bettungskörpers.

Die Stärke des Gleisbettes ist im wesentlichen abhängig von der Art des Untergrundes und des Bettungsstoffes und von der Schwellenteilung. Auf festem, gut entwässertem Untergrund, der nicht geringere Tragfähigkeit besitzt als die Bettung selbst, daher keines vollkommenen Druckausgleiches bedarf, wie Felsboden oder Steingeröll, genügt als Bettung eine schwächere Lage aus Feinschlag oder grobem Kies, hinreichend, um die Schwellen voll zu unterstopfen und dem Gleisbett die nötige Elastizität zu wahren. Ist der Untergrund weniger tragfähig als das Gleisbett, so ist der Bettungs-

*) Organ 1915 S. 191.

druck auf eine breitere Grundfläche zu übertragen, die Bettung also zu verstärken je nach der Tragfähigkeit des Untergrundes. Sehr nachgiebiger Untergrund, wie weiche Tonmasse, erfordert weitestgehenden Druckausgleich und erheblich gesteigerte Bettungsstärke, da der Druckausgleich um so tiefer liegt, je nachgiebiger der Untergrund ist. Auf nicht frostbeständigem Untergrund ist die Bettung jedenfalls bis zur frostfreien Tiefe hinabzuführen. Die unter den Schwellen einsetzenden kreisenden Bewegungen in festunterstütztem Gleisbett reichen nur bis zu einer beschränkten Tiefe, die mit der Schwellenteilung wächst. Sie sind daher nicht durch vergrößerte Bettungsstärke aufzuheben, sondern nur durch engere Schwellenlage, die hinreicht, solchen Bewegungen den Weg zu versperren.

Das Kiesbett ist im allgemeinen stärker zu bemessen als das Schotterbett, weil es den Schwellendruck erst in größerer Tiefe ausgleicht. Im übrigen sind die üblichen Höhenabmessungen des eigentlichen Gleisbettes außerordentlich verschieden. Während in Nordamerika Stärken von etwa 40 cm, in England bis 45 cm unterhalb der Schwelle gegeben werden, begnügte man sich in Deutschland und Österreich mit 20 bis 25 cm, ging aber in neuerer Zeit auf 25 bis 30 cm und mehr. Schubert empfiehlt nach seinen Beobachtungen Stärken, die mit der Schwellenteilung abnehmen, und zwar für Kiesbett Stärken von 40 bis 20 cm, für Schotterbett 30 bis 20 cm bei Schwellenteilungen von 95 bis 55 cm. Auf leicht ausweichendem Untergrund fordert er Bettungsstärken, die das Lichtmaß zwischen den Schwellen um 20 cm übersteigen. Auf den preußischen Hauptbahnen wird jetzt die Bettungsstärke unterhalb der Schwellen auf mindestens 30 cm bemesssen, ein Maß, das mit Rücksicht auf die jetzt übliche enge Schwellenteilung von 75 bis 60 cm und auf die erhöhten Ansprüche an die Beschaffenheit des Bettungsstoffes auf tragfähigem Untergrund ausreichend erscheint. Muß auf sehr nachgiebigem oder nicht frostbeständigem Untergrund das Gleisbett tiefer hinab geführt werden, so genügt hierzu eine Lage minderwertigen, wasserdurchlässigen und standfähigen Stoffes wie Sand, Geröll, Schlacke, verbrauchte Kies- und Schottermassen (vgl. Abb. 99).

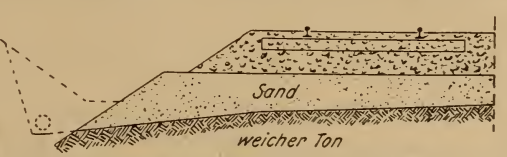


Abb. 99. Gleisbett auf weichem Untergrund 1:100.

Die obere Grenze des Gleisbettes wird in gleiche Höhe mit der Schwellenoberkante gelegt oder höher bis zum Ansatz des Schienenkopfes hinaufgeführt. In wie hohem Maße durch Auflast die Standsicherheit, namentlich der erschütterten Bettung gegen seitlichen Auftrieb gestärkt wird, ist bereits näher erörtert worden (vgl. Abb. 42, 2). Es wird daher Wert darauf zu legen sein, die verfügbare Höhe für die Aufschüttung auch auszunutzen, namentlich in dem leicht beweglichen Kiesbett. Zudem gibt die hohe Aufschüttung dem Gleisbett größere Widerstandsfähigkeit gegen den Seitenschub des Gestänges, schützt ferner die Oberfläche der Holzschwellen gegen

die schädliche Wirkung der Sonnenstrahlen, übermäßiges Austrocknen und Rissebildung. Zwar wird hiermit die Schwellenbefestigung der unmittelbaren stetigen Aufsicht entzogen, doch dürfte bei den jetzigen Ansprüchen an die Sicherheit der Gleisverbindungen kein Bedenken bestehen, auf die früher gewohnte ununterbrochene Prüfung der Befestigungsmittel zu verzichten.

Die Breite des Gleisbettes setzt sich zusammen aus der Länge der Schwelle und der Breite der Vorschüttung vor den Schwellenköpfen. Die Vorschüttung hat nicht nur dem Gestänge den nötigen seitlichen Halt zu bieten, sondern auch die Standsicherheit der Bettung unter den Schwellenenden gegen Ausweichen vor Kopf zu unterstützen, ist daher in ihrer Breite der Standfestigkeit des Bettungsstoffes anzupassen. Das Kiesbett fordert breitere Vorschüttung als das Schotterbett. Lange Schwellen bedürfen geringerer Vorschüttung als kürzere. Als durchschnittliche Breite der Vorschüttung vor 2,70 m langen Schwellen hat sich das Maß von etwa 30 cm eingebürgert und nach der Erfahrung auch als ausreichend erwiesen.

Abb. 100 zeigt die neuste Form des Gleisbettes auf den preußischen Hauptbahnen für Holz- und Eisenschwellen. Die Stärke des Gleisbettes

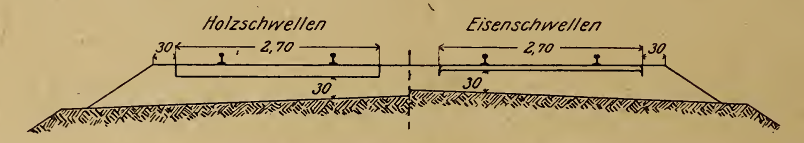


Abb. 100. Gleisbett der preußischen Staatsbahnen 1 : 100.

unterhalb der Schwellenunterkante ist für beide Schwellenarten gleich bemessen, die Oberfläche der Bettung liegt in Höhe der Schwellenoberkante. Hierbei dürfte der Eisenschwellenbau im Nachteil sein, weil die schmalere Eisenschwelle bei gleicher Schwellenteilung zum Druckausgleich einer größeren Bettungsstärke bedarf als die Holzschwelle, weil ferner die Auflast oberhalb der Schwellenunterfläche bei der Eisenschwelle erheblich geringer ist als bei der Holzschwelle*).

Sehr nachgiebiger Untergrund findet, auch wenn ihm der Auftrieb zwischen den Schwellen versperrt ist, noch einen Ausweg zur Seite des Gleises (vgl. Abb. 46). Hier ist daher die standfeste Zwischenlage zwischen Bettung und Untergrund besonders tief hinabzuführen, um seitlichen Auftrieben oder Verdrückungen des ganzen Bahnkörpers entgegenzuwirken (Abb. 99).

Gleisbögen, Spur, Überhöhung.

Spurweite. Die Spur der Vollbahngleise, d. h. die lichte Entfernung zwischen den Schienenköpfen, beträgt auf den meisten europäischen und amerikanischen

*) Vgl. E. Biedermann: Der Oberbau auf hölzernen und eisernen Querschwellen S. 23.

Bahnen in der geraden Strecke 1,435 m, ein Maß, das mit dem ersten Entstehen der Eisenbahnen aus England übernommen wurde. Die Spur neuer Radsätze ist auf den deutschen Bahnen 10 mm geringer als die Gleisspur, den Fahrzeugen ist also die Möglichkeit gegeben, geringe Unebenheiten in der Gleisrichtung und der Gleisspur zwanglos zu durchfahren. Noch größere Bewegungsfreiheit der Fahrzeuge besteht auf den französischen Bahnen, deren Gleisspur 20 mm größer ist als die Radspur, ob zum Vorteil für die Fahrt, konnte durch vergleichende Versuche bisher nicht festgestellt werden. In Gleisbögen ist die Spur mindestens um so viel zu erweitern, daß die Spurkränze in den größten festen Radständen vollen Spielraum zwischen den Schienen behalten. Sie richtet sich nach der Bauart der Fahrzeuge und dem Bogenhalbmesser, und wird auf Grund der Erfahrung im einzelnen festgesetzt. Auf den preußischen Bahnen beginnt die Spurerweiterung in Bögen von 800 m und steigt bis auf 18 mm im Halbmesser von 300 m, einer Krümmung, die auf freier Strecke der Hauptbahnen nicht ohne Zwang überschritten wird. Größere Spurweiten anzuwenden, etwa um das Abrollen der kegelförmigen Räder in scharfen Bögen zu erleichtern, wird im allgemeinen nicht für zweckmäßig gehalten, weil tatsächlich nur die Vorderachse scharf an der Außenschiene läuft, während die Hinterachse nach der Innenschiene drängt; sich also um so ungünstiger einstellen kann, je größer die Spur ist. Die französischen Bahnen mit ihrem größeren Spielraum zwischen Gleisspur und Radspur verzichten auf jede Spurerweiterung, die englischen Bahnen gebrauchen sie in der Regel erst in sehr starken Krümmungen, etwa von 300 m an.

Bei dem Ablenken der Fahrzeuge in Bögen entstehen Seitenkräfte als Folgen entweder der Reibungswiderstände oder der Fliehkräfte. Durch die Reibungswiderstände zwischen Rad und Schiene erleidet namentlich der Außenstrang erheblichen Angriff und Verschleiß. Man hat versucht, durch weitgetriebene Überhöhung des Außenstranges dem entgegenzuwirken und einen Zustand zu schaffen, in welchem der Verschleiß am Außen- und Innenstrang nahezu gleich ist, doch ohne Erfolg, weil hierzu ein außerordentlich hohes, schwer durchführbares und in anderer Hinsicht schädliches Maß der Überhöhung nötig wäre. Man beschränkt sich daher im wesentlichen auf solche Maßregeln, die aus Rücksichten der Betriebssicherheit geboten sind. Die Betriebsgefahr besteht beim Durchfahren scharfer Bögen im Aufsteigen des Außenrades auf die Schiene, sie läßt sich durch Leitschienen sicher beseitigen. Seitendrücke in Bögen.

Diese auf Reibung beruhenden Seitenangriffe haben die Eigentümlichkeit, daß sie sich als innere Kräfte aufzehren, ohne in der Masse der Fahrzeuge weitere Seitenkräfte auszulösen. Anders verhält es sich mit der zweiten Form der Seitenangriffe, der Fliehkraft, die gleichmäßig die ganze Masse des Fahrzeuges ergreift, dessen Stützlinie nach außen drängt, und auf Kippen über die Außenschiene hinwirkt. Zwar reicht sie selbst in scharfen

Bögen bei weitem nicht aus, das Fahrzeug wirklich zu gefährden, aber sie führt zu schädlichen ungleichen Belastungen der beiden Schienenstränge und der Tragfedern, belästigt auch die Insassen in unzulässigem Maße.

Gleisüberhöhung.

Die Wirkung der Fliehkraft kann nun in vollem Umfange durch das einfache Mittel der Gleisüberhöhung aufgehoben werden, von dem daher allgemein, wenigstens in scharfen Bögen der freien Strecke, Gebrauch gemacht wird. Das Maß der Gleisüberhöhung h ergibt sich nach Abb. 101 aus der Forderung, daß die Stützlinie S des Fahrzeuges, die sich aus Eigengewicht G und Fliehkraft F zusammensetzt, senkrecht zur Gleisebene steht, daß also $h : 1{,}50 = F : G$. Nach Einsetzen des Wertes F aus der bekannten Fliehformel $F = \frac{m\,v^2}{r}$ wird $h\,(m) = \frac{0{,}153\,v^2}{r}$ oder $h\,(mm) = \frac{11{,}8\,V^2}{r}$, wenn V die Fahrgeschwindigkeit nach Stundenkilometern, r den Bogenhalbmesser in Metern bezeichnet. Bei den außerordentlich verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten, die auf derselben Strecke zwischen 120 km für Schnellzüge und 30 km für Güterzüge wechseln können, ist es ausgeschlossen, eine Überhöhung zu finden, die allen Ansprüchen gerecht wird. Die schweren, langsamen Güterzüge fordern nur geringe oder gar keine Überhöhung, während die schnellfahrenden Personenzüge weitgehende Rücksicht auf ruhige, durch überschüssige Seitenkräfte nicht gestörte Fahrt zu nehmen haben und Überhöhungen verlangen, die ihrer Fliehkraft einigermaßen entsprechen. Würde die Überhöhung aber lediglich nach der höchsten Fahrgeschwindigkeit bemessen, so würde in scharfen Bögen bei langsamer Fahrt die Innenschiene bis doppelt so stark belastet wie die Außenschiene. Dazu tritt noch die nach innen gerichtete Querkraft aus der Spannung der Zugstange. Daß auch schon bei den üblichen mäßigen Überhöhungen die Innenschienen durchschnittlich stärker belastet sind, zeigt ihr auffallend größerer Verschleiß an den Stößen im Vergleich zu den Außenschienen. Es handelt sich daher um gegenseitige Zugeständnisse, die den beiderseitigen Ansprüchen aus schneller und langsamer Fahrt am besten Rechnung tragen. Für die Schnellzüge entsteht nun die Frage, wie weit die Überhöhung ermäßigt werden kann, ohne die Insassen zu belästigen, ein wie großer Teil der Fliehkraft also unausgeglichen bleiben darf. Um hierfür einen etwas bestimmteren Maßstab zu gewinnen, wurden in einer Reihe von Versuchsfahrten mit Hilfe eines wälzenden Pendels (Abb. 102) die überschießenden Seitenkräfte als Pendelausschläge auf einem abrollenden Streifen verzeichnet und die Grenzen abgeschätzt, bis zu welchen die Ausschläge ohne unzulässige Störungen gesteigert werden konnten*). Die maßgebenden Ausschlaglinien erschienen nicht unmittelbar, sondern erst nach Mittelung der einzelnen Pendelschwin-

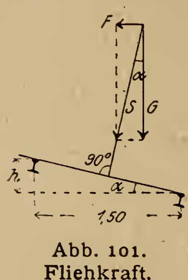


Abb. 101. Fliehkraft.

*) Näheres: Zentralblatt d. Bauverwaltung 1907 S. 83.

gungen, deren Dauer etwa eine Sekunde für die Doppelschwingung betrug. Das Verfahren kann selbstredend keinen Anspruch auf genaue zahlenmäßige Schlußfolgerungen erheben, sondern nur ungefähr einen Anhalt für die Wahl der Überhöhung bieten. Es zeigte sich nun, daß ein Ausschlagwinkel von weniger als 0,02, dem ein Fehler der Überhöhung von 30 mm entspricht, ohne jeden merklichen Einfluß auf die Fahrt blieb, daß erst bei einem Ausschlagwinkel von mehr als 0,05, entsprechend einem Überhöhungsfehler von 75 mm, ein seitliches Drängen auftrat, welches die als zulässig anzusehende Grenze erreichte. Die Gleisüberhöhung um etwa 30 mm geringer zu bemessen, als die Fliehformel ergibt, ist daher unbedenklich, vielleicht nützlich, um dem Fahrzeug die stetige und ruhige Führung an der Außenschiene zu sichern. Sie dürfte indessen auf Strecken mit lebhaftem Personenverkehr nicht ohne zwingenden Grund um mehr als 75 mm zu ermäßigen sein, würde sich also auf Strecken mit gemischtem Verkehr etwa zwischen den Grenzen

$$h\,(\text{mm}) = \frac{11{,}8 \cdot V^2}{r} - 30 \text{ bis } \frac{11{,}8\,V^2}{r} - 75$$

zu bewegen haben, wenn V die größte Fahrgeschwindigkeit bedeutet.

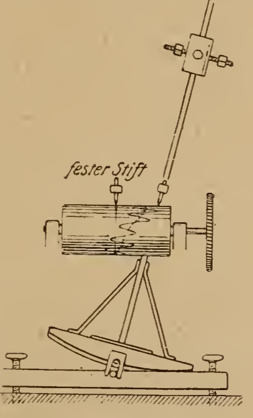


Abb. 102. Pendel.

In Abb. 103 sind die Gleisüberhöhungen nach der Fliehformel für die in Deutschland je nach dem Krümmungshalbmesser zulässigen höchsten Fahr-

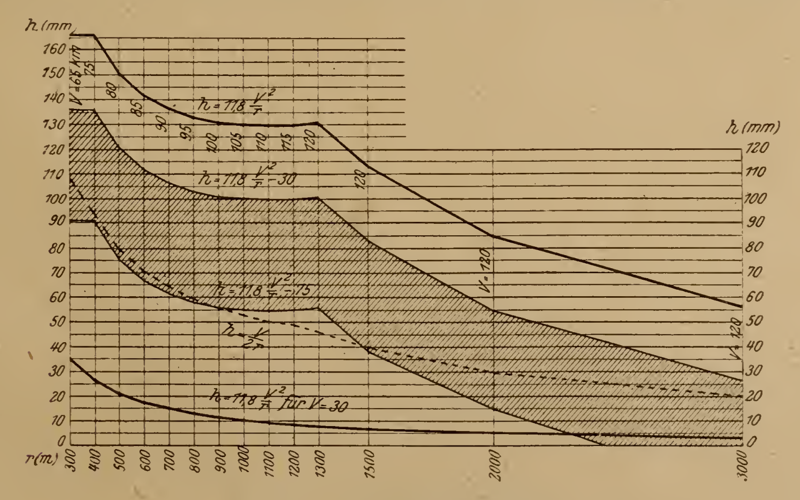


Abb. 103. Gleisüberhöhungen h.

geschwindigkeiten und für Güterzuggeschwindigkeit von 30 km verzeichnet, ferner die für Schnellzüge um 30 und 75 mm ermäßigten, als Grenzwerte anzusehenden Überhöhungen. In schärferen Bögen, bis 1300 m, wird die wirk-

liche Überhöhung in Rücksicht auf die Güterzüge nahe der unteren Grenze zu halten, in flachen Bögen der oberen Grenze zu nähern sein. Dieser Forderung entspricht im allgemeinen die punktierte Linie nach der Formel $h = \frac{V}{2r}$, die den Überhöhungen auf den preußischen Bahnen zugrunde liegt.

Aber auch noch andere Rücksichten kommen in Frage. In steigenden Strecken doppelgleisiger Bahnen, in denen die Züge unter starker Zugspannung stehen, ist geringere Überhöhung gerechtfertigt, in fallenden Strecken, in denen fast gar keine Zugspannung herrscht, aber größere. Auf Strecken mit überwiegendem Güterverkehr und stark zurücktretendem Personenverkehr verdienen die Bedürfnisse der Güterzüge weitergehende Rücksicht. Das Maß der Überhöhung ist daher nicht in starre Formeln einzuzwängen, sondern der örtlichen Betriebsart und Linienführung im einzelnen anzupassen.

In außerdeutschen Ländern wird der Gleisüberhöhung verschiedene Bedeutung beigelegt. Während in Frankreich und Amerika Höhen bis 200 mm üblich sind, begnügen sich einige englische Bahnen mit 88 mm selbst in den schärfsten Bögen.

Übergangsbögen.

Zum Überleiten aus der wagerechten geraden Strecke in die überhöhte Bogenstrecke, sind rampenartige Übergänge erforderlich, die aus Zweckmäßigkeitsgründen in der Regel durch allmähliches Heben des Außenstranges gebildet werden, während der Innenstrang unverändert der Höhenlage der Strecke folgt. An diese Übergangsstrecke werden verschiedenartige Anforderungen gestellt, die mit der Fahrgeschwindigkeit an Bedeutung gewinnen. Die Fahrbahn im Gebiete der Rampe bildet eine windschiefe Fläche, welcher die Fahrzeuge nur mit veränderten Einbiegungen der einzelnen Tragfedern, also mit ungleichen Raddrücken folgen können. Die Folgen sind windschiefe Verbiegungen der Rahmen und ungünstige Beanspruchungen aller andern Teile des Fahrzeuges, die um so schädlicher sind, je steiler die Rampen. Schneller senkrechter Richtungswechsel am Fuß und Kopf steiler Rampen verursacht ferner Stöße und senkrechte Schwingungen. Der Rampenneigung sind daher gewisse Grenzen gesetzt, die in neuerer Zeit mit Rücksicht auf die gesteigerten Geschwindigkeiten in der Regel das Verhältnis 1 : 500 nicht übersteigen sollen. Aber auch im wagerechten Sinne soll die gerade Strecke nur allmählich in den Bogen übergeleitet werden. Denn wenn auch das Radgestell zwangweise der Bogenform folgen muß, so wird doch das abgefederte Obergestell dem Bestreben seiner Massenträgheit, die gerade Richtung beizubehalten, nachgeben, zunächst nach außen drängen und dann in pendelnde Seitenbewegungen übergehen. Diese störenden Bewegungen können, wenn auch nicht ganz beseitigt, so doch bis zur Unmerklichkeit eingeschränkt werden, wenn der Kreisbogen nicht plötzlich, sondern nach und nach aus der Geraden hervorgeht. Zu einer ähnlichen Übergangsform führt die weitere Forderung, daß die Gleisüberhöhung in einem be-

stimmten Verhältnis zum Krümmungshalbmesser stehen soll. Am Fußpunkt der Rampe soll daher der Krümmungshalbmesser mit unendlicher Größe ansetzen, im umgekehrten Verhältnis zur Rampenhöhe abnehmen, bis am Kopfpunkt der Halbmesser des Kreisbogens erreicht ist. Diese Forderung wird bei geradliniger Neigung der Rampe erfüllt, wenn die Grundform des Übergangsbogens eine kubische Parabel bildet*) nach der Gleichung:

$$y = \frac{x^3}{6r \cdot l} \text{ (vgl. Abb. 104).}$$

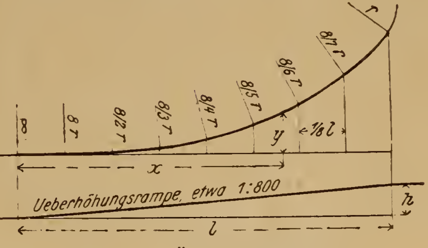


Abb. 104. Übergangsbogen.

In der Gleichung erscheint die Fahrgeschwindigkeit nicht mehr, sondern nur der Halbmesser r des Kreisbogens und die Länge l des Übergangsbogens. Diese Länge ist auf Hauptbahnen so groß zu bemessen, daß die Rampenneigung nicht steiler als 1:500 ausfällt, daß außerdem die Masse der Fahrzeuge ohne merkliche Schwankungen der Bahn zu folgen vermag. Sie wurde auf den preußischen Bahnen nach den neueren Erfahrungen in scharfen Bögen bis 500 m Halbmesser auf 80 m, in Bögen von 500 bis 1500 m auf 60 m und über 1500 m auf 40 m bemessen, woraus sich Rampensteigungen nicht stärker als 1:730 ergeben, in der Annahme, daß Übergangsbögen und Rampen der Länge nach zusammenfallen.

Wie nun in Bogenfahrten die Fliehkräfte sich tatsächlich äußern, ist in Abb. 105 an einer Versuchsfahrt durch einen Bogen von 600 m bei 85 km Geschwindigkeit gezeigt. Im unteren Teil ist die vorhandene Gleisüberhöhung, ferner die Überhöhung verzeichnet, die der Fliehformel für die wirk- Versuchsfahrten.

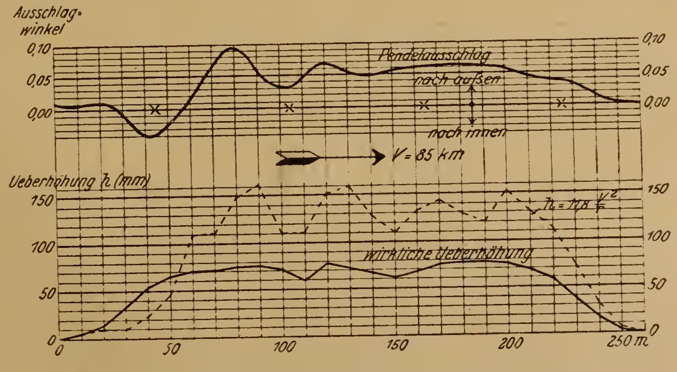


Abb. 105. Seitenausschlag im Bogen von 600 m.

lichen Krümmungshalbmesser an den einzelnen Stellen des Bogens bei 85 km Geschwindigkeit entsprechen würde. Die Krümmungshalbmesser wurden durch genaue Pfeilmessungen bestimmt. Beim Einlauf in den Bogen,

*) O. Sarrazin und H. Oberbeck, Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbögen.

wo die wirkliche Überhöhung nach früherer Gewohnheit der Bogenform vorauseilt, neigt sich das Obergestell nach innen, wird dann schnell nach außen geworfen, kommt nach einigen Schwingungen zur Ruhe, um am Bogenende mit seiner besser angepaßten Überhöhung glatt auszulaufen. Abb. 106 veranschaulicht in gleicher Weise die Fahrt durch einen kurzen Gegenbogen, in welchem die ganze Bogenlänge allein durch die Übergangsbögen in Anspruch genommen wird. Die wirkliche Überhöhung entspricht der Fliehformel, eilt aber im ersten Bogenteil etwas voraus. Der Pendelausschlag war namentlich im zweiten Bogenteil äußerst gering, die Fahrt vollkommen ruhig und stoßfrei, trotzdem keine Zwischengerade zwischen den Bögen vorhanden war. Zwar wird in der Betriebsordnung für Deutschland eine Zwischengerade von mindestens 30 m verlangt, sie scheint jedoch entbehrlich, wenn die Übergangsbögen genügend lang, daher an ihren zusammenstoßenden Enden sehr flach ausgezogen sind. Der unmittelbare Übergang der Gegenbögen ineinander hat zudem den Vorzug, daß die Drehung der Fahrzeuge um ihre Längsachse, welche die Rampenfahrt mit sich bringt, am Wendepunkt ununterbrochen und stetig in gleichem Sinne fortschreitet, während sie in der Zwischengeraden eine plötzliche, die Stetigkeit der Bewegung störende Unterbrechung erleidet. Voraussetzung bildet hierbei allerdings gut ausgerichtete Gleislage. Überhaupt ist für ruhige Fahrt in den Bögen erfahrungsmäßig weniger wichtig ein peinlich genau bestimmtes Maß der Überhöhung, als Gleichmäßigkeit und Stetigkeit der Gleislage nach Richtung und Höhe. Denn die Seitenausschläge sind um so fühlbarer, nicht nur je größer sie sind, sondern mehr noch, je unregelmäßiger und plötzlicher sie vor sich gehen.

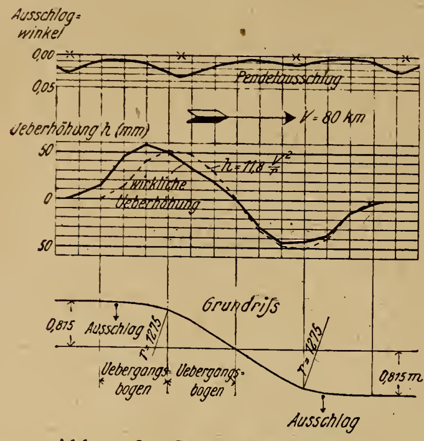


Abb. 106. Seitenausschlag im Gegenbogen.

Gleisunterhaltung.

Jedes Gleis, auch wenn es in seiner Bauart den angreifenden Kräften auf das Vollkommenste angepaßt wird, ist gewissen dauernden Änderungen ausgesetzt, die ihren Ursprung haben in der Übermacht der dynamischen Angriffe oder in zersetzender Tätigkeit von Naturkräften, und die sich äußern in veränderter Gleislage, Lockerungen und Verschleiß an den einzelnen Gleisbestandteilen, am ganzen Gleisgefüge und an den Betriebsmitteln, schließlich im gewaltsamen oder natürlichen Verfall des Stoffes. Alle diese Änderungen sind von weniger schädlichen Folgen, wenn sie frühzeitig erkannt und soweit möglich beseitigt werden. Aber jeder örtliche Eingriff

am Gleise bringt neue Störungen und neue Ungleichmäßigkeiten mit sich, nicht nur an der Eingriffsstelle selbst, sondern auch in deren Nachbarschaft, erfordert daher viel Geschick und Zeit. Die Gleisunterhaltung hat beides im Auge zu behalten, sie hat das Gleis in einen Zustand zu setzen, der lange Ruhezeit gewährleistet, sie hat aber frühzeitig einzugreifen, wo dennoch sich Änderungen zeigen.

Von grundlegender Bedeutung für den Gesamtzustand des Gleises ist die Pflege der Gleislage nach Richtung und Höhe, weil jeder Fehler neue dynamische Angriffe erzeugt sowohl im Gleise als in den Fahrzeugen. Das Richten des Gleises in gerader Strecke ist leicht und sicher nach dem Augenmaß zu bewerkstelligen, anders in Bogenstrecken, in denen bestimmte Richtpunkte fehlen, die dem Auge sicheren Anhalt für den gleichmäßigen Verlauf der Bogenform geben könnten. Hier sind also andere Mittel anzuwenden, entweder einmaliges genaues Festlegen der Gleisachse durch Festpunkte oder wiederholtes Prüfen und Berichtigen der Gleislage durch Aufmessen des wirklichen Zustandes, am einfachsten durch Messen der Pfeilhöhen von gleich langen Sehnen mittels straff gespannter Schnur. Trägt man die gemessenen Pfeilhöhen der Reihe nach als Ordinaten auf (Abb. 107), so ist leicht die mittlere Pfeilhöhe f zu finden, die dem Ausrichten des Bogens zugrunde zu legen ist, die auch den Halbmesser des ausgerichteten Bogens ergibt nach der Formel $r = \frac{l^2}{8f}$. Die der Wirklichkeit entnommene Aufnahme läßt erkennen, wie erheblich der Krümmungshalbmesser in einem sorgfältig, aber nur nach dem Augenmaß ausgerichteten Bogen wechselt, wie mangelhaft daher diese Art des Ausrichtens ist. Gleisrichtung.

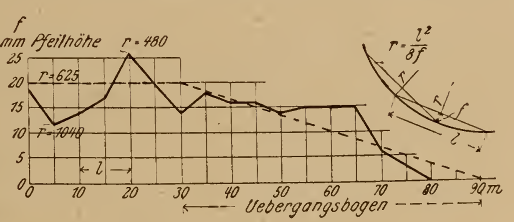


Abb. 107. Pfeilmessungen.

Das einfache Verfahren durch Messen der Pfeilhöhe genügt, wenn es sich nur um örtliche Verdrückungen der Bogenform handelt, der Bogen im ganzen aber richtig verläuft, es wird indessen mühsam und langwierig, wenn die Bogenlage so verwildert ist, daß sie durchweg in neue Form gebracht und dabei seitlich stark verschoben werden muß, ein Zustand, der sehr häufig als Folge nachträglicher Gleisänderungen, Einlegen von Weichen und Einschalten von Übergangsbögen anzutreffen ist. Es entsteht dann die Aufgabe, zwischen den beiden gegebenen Geraden einen neuen Bogen einzulegen, der aus dem alten Bogen mit geringsten Seitenverschiebungen zu entwickeln ist. In neuerer Zeit ist ein von Nalenz erdachtes, von Höfer weiter ausgeführtes und für den praktischen Gebrauch zugerichtetes Verfahren bekanntgegeben*) und mit Erfolg angewendet worden, das darauf ausgeht, an

*) M. Höfer, Die Berichtigung der Krümmungen in Gleisbögen. 1914.

beliebig vielen Punkten des Bogens im voraus das Maß der vorzunehmenden Verschiebung zu ermitteln. Dieses Maß d in Abb. 108, 1 ergibt sich unmittelbar durch Aufzeichnen der vorhandenen Bogenform und Eintragen der berichtigten Form. Der vorhandene Bogen wird durch Pfeilmessungen von gleich langen Sehnen aus aufgemessen, der ausgeglichenen Bogenlinie eine gleichmäßige Pfeilhöhe von gemittelter Größe zugrunde gelegt. Die Verschiebung d ist aufzufassen als der Unterschied der beiden Evolventen E a und E b, die entstehen, wenn beide Bogenlinien von Punkt A bis O abgewickelt werden. Die Evolventen aber lassen sich darstellen lediglich aus den bekannten Pfeilhöhen f, wenn die Höhen e (Abb. 108, 2) gleich dieser Pfeilhöhe f gesetzt werden, was bei kurzen Sehnenlängen zulässig ist. Z. B. beträgt für den Punkt A die Länge der Evolvente

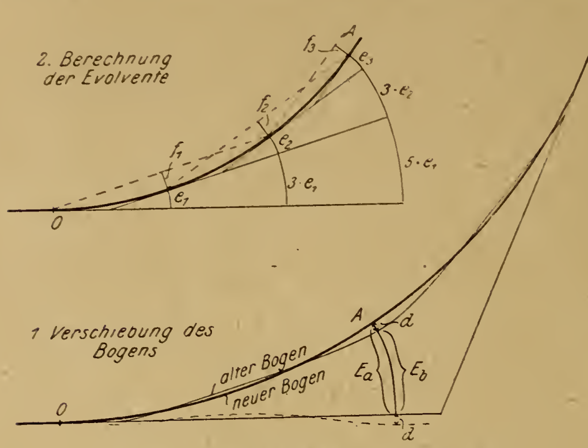


Abb. 108. Bogenausgleich nach Nalenz.

$$E = 5e_1 + 3e_2 + e_3 = 5f_1 + 3f_2 + f_3.$$

Dieses Verfahren, das der Hauptsache nach auf zeichnerischem Wege durchgeführt wird, ermöglicht, in die alte Bogenlinie eine neue nebst Übergangsbögen einzulegen, welche die nötigen Seitenverschiebungen, die der Größe nach unmittelbar im Bilde erscheinen, in den geringsten Grenzen hält, dabei aber feste Hindernisse umgeht und bestimmte unverschiebliche Gleispunkte festhält. Es bietet ferner den großen Vorteil, daß die Haupttätigkeit, die allerdings Übung und Überlegung erfordert, außerhalb des Gleises auszuüben ist, während die wenigen Arbeiten im Gleise selbst geringe Zeit und Mühe erfordern. Ist nun der Bogen in dieser Weise ausgeglichen, wird man dazu übergehen, die einmal gewonnene Bogenlinie durch sichere Festpunkte für spätere Nacharbeiten festzulegen.

Höhenlage. Die Änderungen in der Höhenlage des Gleises wirken meistens weniger schädlich durch ihre Größe als durch ihre Ungleichmäßigkeit. Das Gleisbett soll daher jeder Schwelle gleichen Widerstand gegen Einsinken bieten. Dazu ist erforderlich durchaus gleichmäßige Beschaffenheit der Bettung, gleichmäßige Widerstandsfähigkeit des Untergrundes, Verteilen stärkerer Lastdrücke, wie sie regelmäßig an den Stößen erscheinen, auf größere Flächen des Gleisbettes. Jede örtliche Beeinträchtigung der Tragfähigkeit, etwa durch nesterweises Einbauen minderwertigen Bettungsstoffes, Schwächen der Bettungsstärke, Hindernisse im Wasserabfluß, ist daher zu verhüten,

wechselnde Tragfähigkeit des Untergrundes nötigenfalls durch Verstärken des Gleisbettes oder durch Einbau tragfähiger Unterschichten auszugleichen, in der Umgebung der Stöße aber die Schwellenteilung dem wirklichen Bedürfnis anzupassen.

Das Gleis erhält seine festunterstützte und ausgeglichene Lage erst durch Unterstopfen der Schwellen, also durch festes Zusammenpressen der Bettung. Auf die spätere Gleislage ist die Güte der Stopfarbeit von wesentlichem Einfluß, sie erfordert Übung und Geschick im Zusammenwirken einer größeren Anzahl von Arbeitskräften, wenn der Hauptzweck erreicht werden soll, dem Gleisbett unter jeder Schwelle gleiche Dichtigkeit und damit gleiche Widerstandsfähigkeit zu verleihen. Es sollte daher auf einen ständigen Stamm gut eingearbeiteter Stopfer besonderer Wert gelegt werden.

Ein großer aber unvermeidlicher Übelstand ist mit den Stopfarbeiten verbunden, nämlich die weitgehende Zerstörung des Bettungsstoffes. Zwar läßt sie sich einschränken durch geschicktes Handhaben und durch Verwenden schwerer Stopfhacken mit weniger harten Schlägen, dem jedoch bei gewöhnlicher Handarbeit enge Grenzen gesetzt sind. Besseren Erfolg, auch hinsichtlich der Güte und Schnelligkeit der Stopfarbeit versprechen maschinelle Vorrichtungen, die als Stopfmaschinen verschiedener Form namentlich zum durchgehenden Stopfen des Gleises bei Gleisumbau und bei Erneuerung des Gleisbettes in Gebrauch genommen sind*). Sie ermöglichen vollkommen gleichmäßiges Unterstopfen der Schwellen von beiden Seiten durch Druck und Schlag, können auch bei geeigneter Bauart zwischen dicht gelagerten Schwellen eingreifen, bilden also kein Hindernis für enge Schwellenteilung. Hinderlich war dagegen vielfach ihre Schwerfälligkeit, die der notwendig kräftige Bau und die Anordnung besonderer, von der Maschine getrennter Kraftquellen und Kraftleitungen mit sich brachte. Ist auch eine vollkommene, allen Ansprüchen entsprechende Lösung noch nicht zu verzeichnen, so sind im Hinblick auf die großen Vorteile maschinellen Stopfens weitere Bemühungen durchaus am Platze, zu denen etwa die leichten Explosionsmaschinen der Neuzeit geeignete Handhabe bieten könnten.

Schwellen von etwa 2,70 m Länge bewahren am dauerhaftesten ihr volles Lager im Gleisbett, wenn sie in ihrer ganzen Länge gleich stark unterstopft werden, während kurze Schwellen unter den Schienen und unter den Schwellenköpfen kräftiger zu stopfen sind als in der Mitte. Die Nutzleistung der Stopfarbeit ist je nach der Schwellenform verschieden und kann geschätzt werden aus dem durch die ersten Belastungen verursachten Einsinken der Schwellen, das Schubert mit verlorener Stopfhöhe bezeichnet. Aus diesem ersten Nachgeben frischgestopfter Schwellen ist es erklärlich, daß einzelne nachgesunkene Schwellen, namentlich eiserne Kofferschwellen, schwer in dauernd gleiche Höhenlage mit den festgelagerten Nachbar-

*) Frahm, Zeitschr. d. Ver. Deutscher Eisenb.-Verwaltungen. 1908 Nr. 9/10. — Handstopfmaschine von Hampke, Organ 1915 S. 389. — Glasers Annalen 1917 S. 147.

schwellen zurückzubringen sind. Um so mehr Wert ist darauf zu legen, das Gleis von vornherein so gleichmäßig zu unterstopfen, daß einzelne Nachhilfen nur ausnahmsweise nötig werden, bis das Gleis im ganzen einer neuen Stopfung bedarf. Anstatt einzelne Schwellen nachzustopfen, werden zum Höhenausgleich auch Futterstücke aus Filz, Gewebestoff, Dachpappe oder Holzbrettchen von passenden Stärken über den Schwellen eingeschoben, auch doppelte Holzkeile untergetrieben, doch hat diese Maßregel wohl nur den Wert eines Notbehelfes, kann aber keinesfalls wiederholtes Durchstopfen des ganzen Gleises ersetzen.

Gleisverbindungen.

Eingehende Fürsorge beanspruchen die Gleisverbindungen, von deren Zustand in erster Linie die Dauerhaftigkeit des ganzen Gleisgefüges abhängt. Auch in dieser Hinsicht sollte von Zeit zu Zeit das Gleis im Zusammenhange durchgeprüft, und Sorge getragen werden, daß in der Zwischenzeit an vereinzelten Stellen möglichst wenig Nachhilfe nötig wird, weil sie nicht ohne Einfluß auf die Lage und den Zustand der Umgebung bleibt, und wenn vom Bahnbewachungspersonal ausgeführt, oft nicht sachgemäß gehandhabt wird. Zu dem Zwecke wird empfohlen, die regelmäßige durchgehende Prüfung kleinen Abteilungen sachkundiger Streckenarbeiter anzuvertrauen und darauf zu halten, daß halbe Maßregeln, die nur kurzen Erfolg haben, vermieden werden. Alle diese Arbeiten sollten Hand in Hand mit dem Stopfen und Richten des Gleises gehen, denn mangelhafte Gleislage hat stets neue starke Angriffe auf die Gleisverbindungen zur Folge.

Bei den Nachhilfen an den Gleisverbindungen handelt es sich der Hauptsache nach um Nachspannen gelockerter Schrauben, Nägel und Keile, Ersatz verschlissener Stücke, Nacharbeiten der Lagerflächen, Prüfen des Laschenschlusses, Berichtigen der Gleisspur und der Stoßlücken. Schienennägel, deren Haftfestigkeit merklich nachgelassen hat, wiederholt zurückzutreiben, ist zwecklos. Man wird alsbald zu dem zwar unvollkommenen Hilfsmittel, die Nagellöcher zu verpflocken, greifen müssen. Gleiche Hilfsmittel versagen aber vollständig bei Schwellenschrauben. Diese erfordern daher eine Behandlung, welche von vornherein die Schraubengewinde gegen gewaltsame Zerstörung sicher schützt. Die verwendeten Schraubenschlüssel sollen so geringen Hebelarm besitzen, daß die Schrauben nicht überdreht werden können; die Vorbohrungen so eng sein, daß die Schraube überall fest gegen das Holz gepreßt wird, im Weichholz etwa 3, im Hartholz 1 mm enger als der Schraubenkern. Vor dem Einbringen werden die Schrauben zweckmäßig zum Schutz gegen Nässe in warmen Teer getaucht. Beim Wiedereinfügen gelöster Schrauben soll unbedingt den alten Gewindegängen gefolgt werden. Gute Dienste tun federnde Einlagen unter den Schraubenköpfen, deren Spannkraft gleich der beabsichtigten Schraubenspannung ist, deren Schluß daher die Grenze bezeichnet, bis zu welcher die Schraube einzuführen ist. In neuen Weichholzschwellen werden die Schrauben zunächst häufiger nachzuspannen sein, bis sich ein volles, gleichmäßig gepreßtes Lager gebildet hat.

Sonst aber sollten sowohl die Schwellenschrauben als die Unterlagplatten, soweit es angeht, unberührt bleiben, und nicht in der einmal gewonnenen innigen Berührung mit dem Holz gestört werden. Müssen dennoch die Lager an Holzschwellen nachgearbeitet werden, so sollte es nicht an einzelnen Stücken, sondern Schwelle für Schwelle nach Schablone geschehen, damit die Schiene voll auf allen Lagern ruht und alle Befestigungsstücke gleichmäßig beansprucht werden. Die Schwellen im Gleise zu verschieben, um neue, gesunde Lager oder neue Sitze für die Schrauben zu schaffen, kann wegen unsymmetrischer Belastung des Gleisbettes nicht empfohlen werden.

Die Eisenschrauben neigen zu selbsttätigem Zurückdrehen der Muttern unter den Erschütterungen im Gleise, um so leichter, je häufiger sie nachgezogen werden. Dem wird am sichersten vorgebeugt ebenfalls durch Spannfedern oder Spannringe, deren Spannkraft womöglich der beabsichtigten Schraubenspannung gleichkommt. Die stärksten Spannungen sind den Schrauben zu geben, die durchaus festen unverschieblichen Anschluß vermitteln sollen, wie in der Verbindung der Schienen mit eisernen Stuhlplatten und mit eisernen Schwellen. Sollen dagegen die verbundenen Stücke gewisse Beweglichkeit behalten, wie in der Schienenverlaschung, so bedarf es geringerer Spannungen und schwächerer Spannfedern mit größerem Federspiel.

Die Nacharbeiten, deren die Schienen bedürfen, beschränken sich fast ausschließlich auf die Stoßstellen. Zunächst ist auf gleichmäßige, den Bedürfnissen entsprechende Weite der Stoßlücken zu halten, namentlich gruppenweisem Anstauen oder Erweitern der Lücken bei Zeiten entgegenzutreten. Soweit die Schienen nicht durch feste Verbindung mit den Schwellen oder durch seitliche Stützklemmen gegen Wandern geschützt sind, werden sie nach Lösen der Laschen mit Hilfe von Schienenrückern, doppelten Schraubenspindeln mit entgegengesetzten Gewinden, zurückgetrieben. Die Laschen werden gereinigt und geölt, um die Bewegung der Schienen bei Wärmewechsel zu erleichtern. Die Stufen an den Schienenstößen werden vielfach durch Schienenhobel beseitigt. Dieses Verfahren erfordert bei den geringen Abmessungen, um die es sich handelt, große Genauigkeit, und läßt sich nicht mit dem einfachen Handhobel, sondern nur mit dem genau einzustellenden und sicher geführten Maschinenhobel bewerkstelligen. Vor allem sind die Abflachungen lang auszuziehen, um kurze Stoßknicke zu vermeiden. Vorübergehende, nur durch mangelnden Laschenschluß gebildete Stufen dürfen nicht mit dem Hobel beseitigt werden. Als Nachteil des Hobelns wird auch geltend gemacht, daß es die obere, festgehämmerte und widerstandsfähigere Kopfhaut der Schiene zerstört. Andere vielfach benutzte Hilfsmittel zum Beseitigen von Stoßstufen und Aufbessern des Laschenschlusses bestehen in Futterblechen, die zwischen abgenutzten Laschenstützflächen eingeführt werden, oder auf doppelgleisigen Strecken in Umwechseln der Laschen, derart, daß der unter dem Anlaufende der

Schienenstöße.

Schiene gelegene stärker verschlissene Teil der Lasche nun unter dem Ablaufende zu liegen kommt. Das wirksamste, meist verwendete Mittel besteht in rechtzeitigem Ersatz verschlissener Laschen durch neue oder durch aufgepreßte alte Laschen. Um aber von vornherein den Verschleiß am Stoß einzuschränken, ist auch der Stoßunterstützung, namentlich der Schwellenverteilung, besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Ersatz verschlissener Stücke.

Das Augenmaß für vollen Verschleiß und notwendigen Ersatz eines Stückes muß im allgemeinen der praktischen Erfahrung überlassen bleiben. Auch hier sollte von dem Gesichtspunkte ausgegangen werden, daß bei dem einheitlichen Durcharbeiten des Gleises ein Zustand geschaffen wird, der weitere Erneuerungen und Nachhilfen während einer längeren Ruhezeit ausschließt. Namentlich in den Hauptbetriebsgleisen sollte falsch angebrachte Sparsamkeit vermieden, und jedes Stück beseitigt werden, welches, wenn auch noch nicht voll ausgenutzt, das feste Gleisgefüge stören könnte. Untergeordnete Nebenbahnen und Nebengleise geben Gelegenheit, solche halbverbrauchten Stücke weiter auszunutzen. Für die Schienen besteht vielfach die besondere Bestimmung, daß sie auszuwechseln sind, sobald die Fahrfläche des Kopfes bis zu einer gewissen Tiefe abgenutzt ist. Aber nicht allein die Abnutzungen am Schienenkopf kommen in Frage, sondern auch andere Erscheinungen, wie Verbiegen und Verdrücken der Schienen, vor allem Stoßknicke, die zu früherem Ersatz nötigen. Doch jede Ersatzschiene bringt neue Störungen mit sich. Denn wenn sie auch aus gleichaltrigen Gleisen entnommen wird, so gelingt es doch selten, an den Stößen die wünschenswerte Stetigkeit der Lauffläche zu erhalten. Sobald es sich daher nicht mehr um Ersatz einzelner frühzeitig verschlissener Schienen handelt, sondern um vermehrten Ersatz infolge fortgeschrittener Gesamtabnutzung des Schienenstranges, sollte mit vollständiger Erneuerung in Hauptgleisen nicht gezögert werden. Dasselbe gilt von den Schwellen, noch mehr von den Laschen, von deren festem Schluß die Dauerhaftigkeit der ganzen Stoßlage so wesentlich abhängt. Mit jeder durchgehenden Erneuerung der Schienen sollte stets ein voller Gleisumbau verbunden werden. Die gewonnenen Schienen können wesentlich aufgebessert werden durch Abtrennen der im Bereich der Laschen gelegenen, am meisten verschlissenen Endstücke. Doch zeigen auch die gekürzten Schienen so große Höhenunterschiede, daß ihr Wiedereinbau in Hauptgleisen nicht ratsam ist.

Der Verschleiß des Bettungsstoffes äußert sich im Zerkleinern oder vollständigen Zerstampfen des Kornes und im Abrunden seiner scharfen Kanten. Beides bedeutet für das Gleisbett Verlust an Standfähigkeit, der sich namentlich unter eisernen Schwellen in höchst schädlicher Weise bemerkbar macht. Die Bettung ist daher von Zeit zu Zeit entweder ganz zu erneuern oder von den angesammelten feinen Bestandteilen zu reinigen und durch frischen Zuschlag zu ergänzen. Dieser letztere als der tragfähigere Teil, sollte in den tieferen, tragenden Lagen, der alte weniger tragfähige Rest aber zum

Verfüllen verwendet werden. Zugleich mit der Erneuerung des eigentlichen Gleisbettes ist der Untergrund einzuebnen und nötigenfalls mit einer Zwischenlage zu überdecken, zu welcher der gewonnene alte Bettungsstoff oft mit Vorteil benutzt werden kann. Da beim Einbau des neuen Gleisbettes kaum zu verhüten ist, daß das Gestänge vorübergehend ungleich unterstützt und vermehrten Spannungen ausgesetzt wird, so ist es ratsam, die Erneuerung des Gleisbettes nicht etwa einem Gleisumbau folgen, sondern ihm vorangehen zu lassen, dem neuen Gleise also eine bereits festgelagerte, dauerhafte Unterlage zu bieten.

Als erstrebenswertes Ziel wird stets ein Gleiszustand im Auge zu behalten sein, der nicht allein dem dringendsten Bedürfnis genügt, der vielmehr Gewähr bietet für eine längere gute Gleislage und für genügende Tragfähigkeit des Gleises auch gegenüber vermehrter Betriebslast. Denn nicht nur in Kriegszeiten, sondern auch im Frieden beanspruchen oft andere dringende Arbeiten einen so großen Teil der verfügbaren Arbeitskräfte, daß die Gleisunterhaltung auf längere Dauer zurücktreten muß. Die Ansprüche an die Leistungsfähigkeit des Gleises wechseln oft in kürzester Frist in unberechenbarer Weise. Die Güte des Gleiszustandes soll daher einen reichlichen Überschuß in sich bergen, der über ungünstige Zeiten hinwegzuhelfen vermag. Das zu verwirklichen, ist nicht nur Aufgabe des Gleisbaues, sondern in gleichem Maße auch der Gleisunterhaltung.

Schluß.

Es ist eine zunächst auffällige Erscheinung, daß die lange Erfahrung, die dem Gleisbau zur Seite steht, nicht ausgereicht hat, Formen zu entwickeln, die allgemein als mustergültig angesehen werden könnten, daß vielmehr die widersprechendsten Ansichten über Vorzüge und Nachteile gewisser Bauarten auch heute noch unvermittelt nebeneinander fortbestehen. Aus dieser Unsicherheit ist zu schließen, daß die Unterlagen, auf die sich das Urteil stützt, noch nicht genügend gefestigt sind, um auf ihnen sichere Schlußfolgerungen aufzubauen. Als die zuverlässigsten Grundlagen des Gleisbaues wurden bezeichnet die Rechnung und die Beobachtung. Die Rechnung ist zwar befähigt, aus gewissen durch die Beobachtung gewonnenen Annahmen über die Art der Angriffskräfte, über Festigkeit und Elastizität der Stoffe mathematisch begründete, daher unanfechtbare Ergebnisse zu entwickeln, die unmittelbar für die Ausgestaltung des Gleises verwertbar sind, sie wird aber in vieler Hinsicht von der Beobachtung, aus der

sie die grundlegenden Zahlenwerte schöpfen soll, in Stich gelassen, kann auch anderseits der außerordentlichen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, die ihr durch die Beobachtungen zugetragen werden, im einzelnen nicht stets folgen. Die Beobachtung ihrerseits soll aber nicht nur die nötigen Grundlagen für die Rechnung liefern, sondern selbst auch Werte als unmittelbare Grundlagen für den Ausbau des Gleises schaffen. Ihre Art und ihr Umfang ist für die Fortschritte im Gleisbau von größter Bedeutung, gleichwohl bisher nicht in einem Maße entwickelt, das dieser Bedeutung entspricht. Das erklärt sich aus den Schwierigkeiten und der langen Dauer, die zu überwinden sind, um nach und nach in die vielseitigen und wechselvollen Erscheinungen voll einzudringen.

Die einfachste Form der Beobachtung beschränkt sich auf fortgesetztes Prüfen des Gleiszustandes, seines Wechsels und dessen Ursachen lediglich nach dem Augenschein. Sie soll von jedem geübt werden, dem die Unterhaltung des Gleises unmittelbar anvertraut ist, darf aber auch von denen nicht vernachlässigt werden, denen die obere Aufsicht und Leitung der Gleisarbeiten und das Ausarbeiten von Entwürfen für Gleisformen obliegt. Denn sie ist ein unentbehrliches Hilfsmittel, den Blick für die praktischen Anforderungen zu schärfen, die an die Form der einzelnen Gleisbestandteile und an ihre Verbindungen zu stellen sind. Um aber die Vorzüge und Nachteile verschiedener Bauarten würdigen zu können, müssen sie in ihrem Verhalten gegenseitig in Vergleich gestellt werden. Dazu reicht der Augenschein allein nicht mehr aus, es sind vielmehr bestimmte Zahlenwerte als Grundlagen für den Vergleich zu schaffen. Das führt zu einer erweiterten Beobachtungsform, der Statistik. Sie bringt gesammelte zahlenmäßige Angaben über die Gebrauchsdauer ganzer Gleise oder einzelner Stücke, über vorgenommene Erneuerungen, Arbeitsaufwand bei der Gleisunterhaltung und -erneuerung, auch über das Verhalten des Gleises im allgemeinen, stets getrennt nach Bauart und Betriebsweise. Genügend erweitert und gegliedert, gibt sie wertvolle Unterlagen zum Einschätzen der einen und der andern Bauart, ist aber nicht geeignet, in die Ursachen der Erscheinungen tiefer einzuführen, die unzähligen Wechselwirkungen zwischen Angriffen und Widerständen zu ergründen, deren Kenntnis für richtiges Abwägen der wirklichen Bedürfnisse so unerläßlich ist.

Schon früh bemühte man sich, diese Wechselwirkungen durch eingehende geordnete Beobachtungen nach Maßen und Zahlen festzulegen, teils durch Aufmessen der Formänderungen, die im Gleise durch den Betrieb oder durch sonstige Einwirkungen hervorgebracht werden, teils durch abgetrennte Versuche außerhalb des Gleises unter möglichst genauer Nachahmung der Vorgänge im Gleise selbst. Diese letztere Art schließt den Vorzug in sich, daß die vielen im Gleise wirkenden Angriffskräfte gesondert und in ihren Wirkungen jede für sich untersucht werden können, daß ferner an Modellen kleinen Maßstabes mit bedeutend geringeren als den im Gleise

erscheinenden Angriffskräften gearbeitet werden kann, um gleichartige Wirkungen darzustellen. Sie ist daher sehr beliebt und viel in Gebrauch, bildet auch unstreitig ein gutes Hilfsmittel, den Einblick in die Eigentümlichkeiten der Angriffskräfte und ihrer Wirkungen zu klären, ist indessen nicht imstande, maßgebende Zahlenwerte zu liefern. Denn die Beobachtungsergebnisse in kleinem Maßstabe sind keineswegs ohne weiteres nach Maß und Zahl auf größere Maßstäbe zu übertragen, auch decken sich die willkürlich angesetzten Kräfte nie vollkommen mit den wirklichen, zum Teil unbekannten Angriffskräften im Gleise, weder im einzelnen noch in ihrem Zusammenwirken. Solche Versuche haben daher in der Regel lediglich den Wert und den Zweck, aufzuklären und vorzubereiten für die Beobachtungen im Gleise selbst.

Die bisherigen Versuche und Beobachtungen lagen fast ausschließlich in der Hand einzelner, die sich aus Liebe zur Sache der Mühe unterzogen. Sie haben viel beachtenswerte und nützliche Ergebnisse zutage gefördert, waren aber fast immer nur auf Einzelerscheinungen gerichtet, etwa das Verhalten des Gleisbettes, der Stöße, der Gleisverbindungen, auf die Lage des Gleises im ganzen und seine elastischen Eigenschaften, auf die Widerstandsfähigkeit und Dauer des Gleisstoffes, wie es von der Tätigkeit Einzelner neben den sonstigen Berufsgeschäften nicht anders erwartet werden kann. Hieraus erklärt sich aber die Unzulänglichkeit solcher Beobachtungen. Sie reichen nicht aus, die gegenseitige Abhängigkeit der einzelnen Vorgänge und die Gesamtheit der Erscheinungen zusammenzufassen und ein vollständiges Bild von dem ganzen Getriebe der Kräfte vorzuführen. Selbst die Beobachtung der Einzelvorgänge konnte nur selten den Umfang annehmen, der zu ihrem vollen Verständnis nötig ist. Jede Unvollkommenheit aber führt leicht zu Einseitigkeiten, zu ungerechtfertigtem Bewerten einzelner gewonnener Ergebnisse und Vernachlässigen anderer für den Gesamtzustand vielleicht maßgebenderer Einflüsse. Der große Umfang und die notwendig lange Dauer solcher Beobachtungen fordern daher Einrichtungen, die nicht mehr mit der Person eines einzelnen Beobachters stehen und fallen, sondern Einrichtungen dauernder Art, aufgebaut auf breitester Grundlage, ausgestattet mit vollkommenen Hilfsmitteln, losgelöst von dem Wechsel der mitwirkenden Personen.

Die erste Einrichtung dieser Art wurde von der preußischen Staatsbahn in der Versuchsbahn bei Oranienburg ins Leben gerufen. Sie besteht nach Abb. 107 aus einem länglichen Gleisring, dessen Schmalseiten durch Kreisbögen von 200 m Halbmesser abgeschlossen und mit Leitschienen ausgestattet sind. Die Betriebslast wurde aus einer elektrischen Lokomotive und angehängten Lastwagen gebildet, die eine Jahreslast bis 40 Millionen Tonnen auf das Gleis zu übertragen vermochten, also etwa die vierfache Last eines schwerbelasteten Verkehrsgleises. Der Zweck des Unternehmens war zunächst, verschiedene Bettungsstoffe auszuproben, weiterhin einzelne Ober-

bauarten zu prüfen und schließlich die Dauerleistungen elektrischer Triebwagen und Lokomotiven festzustellen. Wenn nun auch das Versuchsgleis nach seiner Ausdehnung, nach seiner Form und nach der Art des Betriebes nicht geeignet war, alle Vorgänge in die Erscheinung zu bringen, die sich in Hauptverkehrsgleisen abspielen, und wenn es ferner auch erheblichen Kostenanfwand für den Dauerbetrieb beanspruchte, so ist es doch als eine wertvolle Errungenschaft zu betrachten, von der zu hoffen ist, daß sie den Ausgangspunkt zu erweiterten Einrichtungen bildet, die den wirklichen Vorgängen in den Betriebsgleisen voll Rechnung tragen. Die geeignetsten Beobachtungsstrecken bleiben die Betriebsstrecken selbst. Es dürfte auch nicht schwer fallen, etwa die Einmündungsgleise vor einem großen Bahnhofe zu einem ausgedehnten Beobachtungs- und Versuchsfelde zusammenzufassen, das eine Mannigfaltigkeit der Betriebsart, der Betriebsbelastung und der Krümmungsverhältnisse in sich schließt, wie sie für erschöpfende vergleichende Beobachtungen vorausgesetzt werden muß. Erst solche dauernden Einrichtungen würden geeignet sein, feste und allgemein gültige Grundlagen für den Gleisbau zu schaffen.

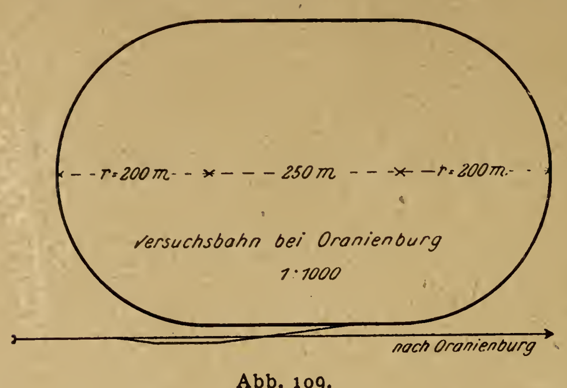


Abb. 109.

Gedruckt bei E. S. Mittler & Sohn, Berlin SW 68, Kochstraße 68—71.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
625.14B73G C001
DIE GRUNDLAGEN DES GLEISBAUES$BER
3 0112 008408491